

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Matija Kušmišević

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Predrag Čosić, dipl. ing.

Student:

Matija Kušmišević

Zagreb, srpanj 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Predragu Ćosić na velikoj pomoći, razumijevanju, strpljenju, savjetima te posvećenom vremenu i trudu prilikom izrade diplomskog rada. Također, zahvaljujem se i asistentici mag. ing. mech. Maji Trstenjak na savjetima i pomoći prilikom izrade diplomskog rada. Veliku zahvalu upućujem i tvrtki Končar – MES d.d., a posebno gospodinu mag. ing. mech. Vjekoslavu Krleži na puno izdvojenog vremena i omogućavanju svih potrebnih informacija i podataka za izradu simulacijskog dijela diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci i povjerenju tijekom svih godina studiranja.

Matija Kušmišević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 12-07-2017	Prilog
Klasa: 602-04/17-6/4	
Ur. broj: 15-1703-17-223	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Matija Kušmišević

Mat. br.: 0035191327

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Simulacija tehnološkog procesa grupe proizvoda uz definirane različite
scenarije u realnoj proizvodnji**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**Simulation of technological process for group of products with defined
different screenplays in real manufacturing**

Opis zadatka:

U radu opisati osnovne značajke razmatranog realnog tehnološkog procesa : redoslijed operacija, radna mjesta, vremena, kapacitete, rokove isporuke. Temeljem dobijenih podataka, odabrati tip proizvodnje i asortiman proizvoda koji će biti predmet razmatranja. Definirati alternativne varijante izrade proizvoda. Za odabrane proizvode iz realne proizvodnje, pokazati način rješavanja problema uskih grla, kvara stroja, rokova isporuke, lošeg materijala priprema. Usporediti dobijena rješenja sa procjenom stručnjaka iz realne proizvodnje. Predložiti eventualna unapređenja razmatranog tehnološkog procesa.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

11. svibnja 2017.

Rok predaje rada:

13. srpnja 2017.

Predviđeni datum obrane:

19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Predrag Čosić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA	2
2.1. Općenito o upravljanju životnim ciklusom proizvoda	2
2.2. Faze upravljanja životnim ciklusom proizvoda	4
2.3. Implementacija PLM-a	6
2.3.1. Troškovi implementacije	7
2.3.2. Prednosti implementacije PLM sustava	10
3. INDUSTRIJA 4.0	11
3.1. Internet stvari (eng. <i>Internet of Things</i> – <i>IoT</i>).....	12
3.2. Veza između IoT i Industrije 4.0	13
3.3. Integracija.....	14
3.4. Povezanost Industrije 4.0 i PLM koncepta	15
4. SIMULACIJA – DIGITALNA PROIZVODNJA	17
4.1. Siemens PLM.....	17
4.1.1. Tecnomatix Plant Simulation.....	18
4.1.1.1. Prednosti	19
4.1.1.2. Osnove rada u Tecnomatix Plant Simulation.....	20
5. KONČAR MES d.d.	23
5.1. Proizvodni program.....	25
5.2. Tehnološki proces izrade trofaznog kaveznog asinkronog elektromotora.....	26
6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA	31
6.1. Rezultati simulacije postojećeg stanja	35

6.2. Prvi prijedlog poboljšanja postojeće proizvodnje	39
6.3. Drugi prijedlog poboljšanja postojeće proizvodnje	42
7. PROBLEM VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA[11]	46
7.1. Sustavi za potporu pri odlučivanju - DSS	47
8. AHP METODA[11].....	49
8.1. Strukturiranje problema	50
8.2. Određivanje najznačajnijeg kriterija i alternative	51
8.3. Određivanje konačnog rješenja	54
8.4. Procjena konzistentnosti odlučivanja	54
9. PRIMJENA AHP METODE	56
10. ZAKLJUČAK.....	64
LITERATURA.....	65
PRILOZI.....	67

POPIS SLIKA

Slika 2.1	Faze PLM-a[3]	5
Slika 3.1	Vremenski prikaz razvoja industrije [4]	11
Slika 4.1	Grafičko sučelje Tecnomatix Plant Simulation	21
Slika 5.1	Zemlje u koje se izvoz proizvodi tvrtke Končar MES d.d. [9]	23
Slika 5.2	Shema asinkronog motora [10]	26
Slika 5.3	Količinska sastavnica montaže za 5AZ 80B-4 – A440570	27
Slika 5.4	Gantogram trenutne proizvodnje	29
Slika 6.1	Raspored radnih mjesta	32
Slika 6.2	Odjel strojne obrade	33
Slika 6.3	Odjel montaže, lakirnica i završno ispitivanje	33
Slika 6.4	Definiranje parametara transportnog sredstva	34
Slika 6.5	Definiranje parametara operatora	35
Slika 6.6	Postavljanje parametara ulaza	36
Slika 6.7	Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu	37
Slika 6.8	Statistika zauzetosti montaže, lakiranja i kontrole	38
Slika 6.9	Statistika radnog mjesta lakiranje	38
Slika 6.10	Modela A	39
Slika 6.11	Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu – model A	40
Slika 6.12	Statistika montaže, lakirnice i ispitivanja – Model A	41
Slika 6.13	Model B	42
Slika 6.14	Tlocrt rasporeda radnih mjesta Modela B	43
Slika 6.15	Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu – Model B	44
Slika 6.16	Statistika montaže, lakirnice i ispitivanja – Model B	45
Slika 8.1	Strukturiranje problema AHP metode[18]	50
Slika 8.2	Prikaz Saatyve skale [17]	52
Slika 8.3	Prikaz usporedbe kriterija [17]	52

Slika 8.4	Matrica A [19]	53
Slika 8.5	Matrica X [19]	53
Slika 8.6	Slučajni indeks konzistencije RI [19].....	55
Slika 9.1	Stablo odlučivanja	57
Slika 9.2	Uspoređivanje kriterija u programu Expert Choice	58
Slika 9.3	Prikaz rangiranih kriterija.....	58
Slika 9.4	Uspoređivanje alternativa prema kriterijima	59
Slika 9.5	Konačni rezultati procesa višekriterijskog odlučivanja.....	60
Slika 9.6	Analiza rezultata.....	61
Slika 9.7	Odnos kriterija i alternativa	62
Slika 9.8	Analiza rezultata s promijenjenom važnosti kriterija.....	62

POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Prikaz troškova implementacije PLM-a po faktorima[2]	8
Tablica 5.1 Proizvodni asortiman [9]	25
Tablica 6.1 Izlazna statistika	36
Tablica 6.2 Statistika proizvodnje Modela A	40
Tablica 6.3 Statistika proizvodnje Modela B	43

POPIS KRATICA

AHP – eng. *Analytic Hierarchy process* – Analitički hijerarhijski proces

CAE - eng. *Computer Aided Engineering* – Inženjerstvo potpomognuto računalom

CAD – eng. *Computer Aided Design* - Dizajn potpomognut računalom

CAM - eng. *Computer Aided Manufacturing* - Proizvodnja potpomognuta računalom

CI - Indeks konzistentnosti

CR - Omjer konzistentnosti

CRM – eng. *Customer Relationship Management* – Upravljanje odnosima s kupcima

DSS – eng. *Decision Support System* – Podrška pri donošenju odluke

ERP – eng. *Enterprise Resource Planning* – Informacijski sustav za planiranje poslovanja poduzeća

FAE - eng. *Finite Element Analysis* – Metoda konačnih elemenata

IoT – eng. *Internet of Things* – Internet stvari

IT – informacijske tehnologije

MCDA – eng. *Multiple Criteria Decision Aid* - Podrška višekriterijskog odlučivanja

MOM - eng. *Manufacturing Operations Management* – Upravljanje proizvodnim operacijama

PDM – eng. *Product Data Management* – Upravljanje s podacima o proizvodu

PLM – eng. *Product Lifecycle Management* – Upravljanje životnim ciklusom proizvoda

PPLM – eng. *Product and Process Lifecycle Management* - Upravljanje životnim ciklusom proizvoda i procesa

RI - Slučajni indeks konzistentnosti

SRM – eng. *Supplier Relationship Management* – Upravljanje odnosima s dobavljačima

SAŽETAK

Ovim radnom je prikazan koncept upravljanja životnim ciklusom proizvoda kroz digitalnu proizvodnju, odnosno kroz simulaciju procesa proizvodnje jedne vrste trofaznog kaveznog asinkronog elektromotora. Prikazana je i poveznica koncepta upravljanja životnim ciklusom proizvoda i industrije 4.0 te svih elemenata sustava koji čine modernu proizvodnju. Pomoću programske podrške za prikaz digitalne proizvodnje prikazano je trenutno stanje proizvodnog sustava te su predložena dva moguća poboljšanja kao primjer mogućnosti programske podrške i primjene koncepta upravljanja životnim ciklusom proizvoda u realnom sustavu. Pri odlučivanju kod višekriterijskog problema korišten je analitički hijerarhijski proces kao pomoć pri donošenju složene investicijske i organizacijske odluke.

Ključne riječi: Upravljanje životnim ciklusom proizvoda, Industrija 4.0, proizvodni sustav, digitalna proizvodnja, simulacija, analitički hijerarhijski proces

SUMMARY

In this paper, it is shown the concept of product lifecycle management (PLM) through digital manufacturing and simulation of production one type of electric motor. There is shown link between PLM system and industry 4.0 with all elements that make modern production system. With PLM software, there is shown current production system and two possible improvement of it as examples of software's possibilities and implementation of PLM software in real production system. Analytic hierarchy process (AHP) was great help with dealing with multicriteria decision problem of investment and organization.

Key words: Product Lifecycle Management - PLM, Industry 4.0, Production system, Digital manufacturing, simulation, Analytic Hierarchy Process - AHP

1. UVOD

Tehnologija svakodnevno prolazi kroz promjene koje su uzrokovane željom čovjeka za napretkom i mijenjanjem stvari oko sebe. Globalizacija ima sve veći utjecaj na gotovo svaki kutak svijeta što otvara ekonomske i gospodarske prilike svakom sudioniku na tržištu. Tržište zahtjeva veliki raspon različitih vrsta proizvoda te proizvođači ako žele biti uspješni sudionici takvog tržišta moraju se truditi kako bi zadovoljili sve zahtjeve. Kupci zahtijevaju nove proizvode u što kraćem roku koji su sve više prilagođeni njihovim potrebama. Proizvodi trebaju biti atraktivnog dizajna, odličnih radnih osobina, dobre kvalitete te pouzdanosti uz što je moguće niže cijene. Kako bi se zadovoljile sve potrebe koje tržište zahtjeva tvrtke moraju dobro surađivati ne samo unutar svoje organizacije nego i s dobavljačima i kupcima lociranim u različitim dijelovima svijeta. U isto vrijeme, tvrtke moraju upravljati s razvojem novog proizvoda i usklađivanjem s postojećim proizvodnim procesima što ponekad stvara probleme koje mnoge sustave sprječavaju da napreduju na željeni način. Složenost proizvoda, poslovnih procesa i općenito okruženja u kojem tvrtka posluje je veća nego ikad te su potrebni novi načini organizacije procesa kako bi se postigli željeni ciljevi.

Glavni fokus svake proizvodne organizacije je stvoriti proizvod koji će zadovoljiti potrebe i želje kupaca te si tako osigurati daljnju suradnju i ostvarivanje profita, ali u isto vrijeme i vodeći brigu o okolišu kroz ekološku proizvodnju, smanjenje emisije štetnih plinova i slične aktivnosti društveno odgovornog ponašanja. Kako bi uspjeli u tome i bili bolji od svoje konkurencije, tvrtke moraju optimizirati proces razvoja proizvoda i planiranja procesa proizvodnje. Tijekom godina razvijaju se novi sustavi, tehnologije i koncepti poput upravljanja životnim ciklusom proizvoda, sustava za potporu donošenja odluka, metode višekriterijskog odlučivanja, sustavi za dijeljenje informacija o proizvodu te mnogi drugi elementi modernog proizvodnog sustava koji unapređuju poslovne procese i stvaraju dodatnu vrijednost pri proizvodnji proizvoda. Organizacije nastoje ubrzati protok informacija i znanja kako bi u svakom trenutku imali dobru podlogu za donošenje odluka. Prikupljanje, obrada i dijeljenje informacija je važan skup aktivnosti na osnovu kojih se mogu temeljiti procesi donošenja odluka te je za svaku organizaciju bitno integrirati pojedine cjeline sustava kako bi se ubrzali svi procesi. Rezultat organizacija koje imaju brz protok informacija je proizvodni proces visoke kvalitete koji daje pouzdan, isplativ i konkurentan proizvod.

2. UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA

Današnji sustav zahtjeva kontrolu procesa u svakoj fazi kako bi konačni rezultat bilo efikasno iskorištavanje raspoloživih resursa. Voditeljima sustava bitno je da znaju što se događa u pojedinoj fazi, bilo da se radi o financijskom, proizvodnom ili bilo kakvom drugom procesu. Svaki sustav se sastoji od velikog broja komponenti koje se nastoje povezati i integrirati na način da cijeli sustav, a i procesi funkcioniraju na željeni način. Nastoje se optimizirati poželjne karakteristike te izvući ono najbolje iz svakog dijela sustava kako bi se postigao konačni cilj i rezultat. Poduzećima je potreban sustav koji kontrolira sve proizvodno orijentirano procese kako bi se postigla dodatna vrijednost uz što manje troškove i uz što manje grešaka prilikom implementacija novih ideja.

2.1. Općenito o upravljanju životnim ciklusom proizvoda

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (eng. *Product Lifecycle Management – PLM*) je koncept koji povezuje sve poslovne procese u jednu cjelinu te pruža sve informacije kritične za donošenje svakodnevnih odluka koje utječu na strategiju i tržišnu kompetitivnost kompanije. Ovakav koncept moguće je podržati samo s jedinstvenim rješenjem koje nudi kontrolu nad svim proizvodno orijentiranim procesima, od inicijalne ideje do održavanja i prestanka uporabe proizvoda ili recikliranja.

Glavni izazovi koji se danas javljaju u svim granama industrije, mogu se svesti u tri osnovne kategorije: inovativnost proizvoda, sinkronizacija proizvodnih procesa i općenito ubrzavanje poslovanja[1]:

- **Inovativnost proizvoda** zahtijeva efikasno upravljanje projektima i programima. Stoga svi zaposlenici koji sudjeluju u osmišljavanju i dizajnu proizvoda, te njegovoj proizvodnji, moraju imati pristup aktualnim informacijama o proizvodu, kako bi izbjegli pogreške koje, kao krajnju posljedicu, imaju gubitak vremena i novaca.
- **Sinkronizacija svih proizvodnih procesa** moguća je jedino uz dobru povezanost i protok informacija među njima, a rezultat dobre integriranosti i sinkroniziranosti svih procesa je povećanje efikasnosti i kvalitete.
- **Ubrzanje cjelokupnog poslovanja** krajnji je cilj svake kompanije, a to je moguće ostvariti jedinstvenim upravljanjem svim poslovnim procesima, te neprekinutom suradnjom i komunikacijom sa svim partnerima i ključnim interesnim sudionicima.

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda predstavlja koncept kojim su obuhvaćeni svi procesi vezani uz neki proizvod unutar kompanije. Životni ciklus proizvoda obuhvaća sve faze kroz koje proizvod prolazi, od početne ideje, proizvodnje i održavanja do njegovog gašenja. Kroz PLM koncept sve informacije o proizvodu međusobno su dobro povezane čime je omogućeno jednostavnije planiranje, te brže i točnije donošenje ključnih odluka kojima se lakše prilagođava aktualnim zahtjevima tržišta. PLM pojednostavljuje i automatizira sve potrebne aktivnosti kako bi implementirani poslovni procesi bili sigurni, učinkoviti, te u skladu sa zakonima i propisima. Rezultat je smanjenje troškova i minimizirani rizik, kao i poboljšana slika kompanije i tržišne pozicije.

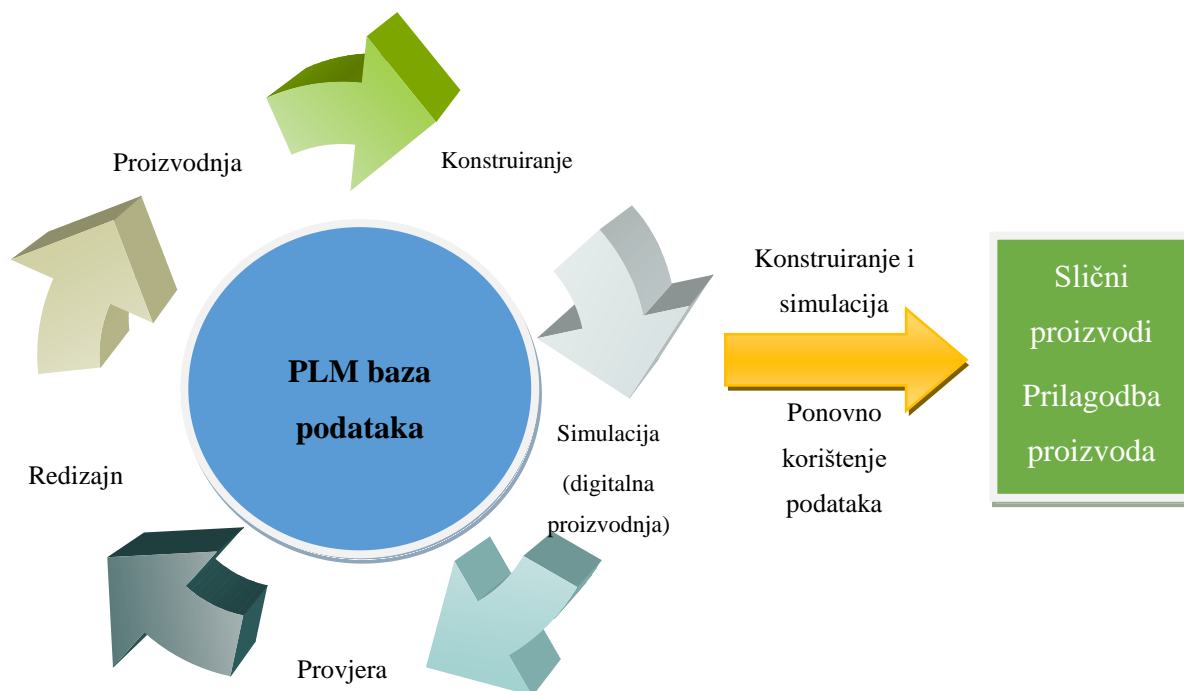
Tvrtke u kojim je implementiran PLM koncept imaju mogućnost brže stvarati i realizirati inovativne proizvode koji zadovoljavaju aktualne tržišne zahtjeve. Također, optimiraju se i ubrzavaju proizvodni procesi kako bi proizvod odgovarao zahtjevima u pogledu kvalitete, cijene i zakonske regulative, ali implementirani PLM koncept osigurava i bolju poziciju na tržištu u smislu bržeg odgovora na zahtjeve.

PLM omogućava efikasno upravljanje s informacijama o proizvodu kroz cijeli životni ciklus, od ideje kroz konstrukciju i proizvodne procese pa do održavanja i prestanka uporabe proizvoda na kraju njegova životnog vijeka. PLM koncept se sastoji od različitih funkcija i tehnologija[2]:

- Upravljanje podacima o proizvodu (eng. *Product Data Management – PDM*),
- Dizajn potpomognut računalom (eng. *Computer Aided Design – CAD*),
- Proizvodnja potpomognuta računalom (eng. *Computer Aided Manufacturing - CAM*),
- Inženjerstvo potpomognuto računalom (eng. *Computer Aided Engineering – CAE*),
- Simulacija,
- Prediktivna analitika,
- Metoda konačnih elemenata (eng. *Finite Element Analysis – FEA*),
- Digitalna proizvodnja,
- Upravljanje proizvodnim operacijama (eng. *Manufacturing Operations Management – MOM*).

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda podrazumijeva suradnju između različitih odjela unutar tvrtke gdje je uz povećan protok informacija povećana i sigurnost u ispravnost proizvoda, a pohranjivanje podataka omogućava *lakši i brži redizajn* postojećeg proizvoda i

prilagođavanje zahtjevima tržišta. Takva suradnja osigurava veću kvalitetu i efikasnost cijelog sustava. Na slici 2.1 je prikazana shema PLM koncepta unutar proizvodnog sustava.



Slika 2.1. PLM koncept unutar proizvodnog sustava

Svaki element PLM sustava ima online pristup PLM bazi podataka te ima jednaku važnost i ulogu u funkcioniranju cijelog sustava te bez međusobne suradnje ne bi se osigurala efikasnost i željena produktivnost.

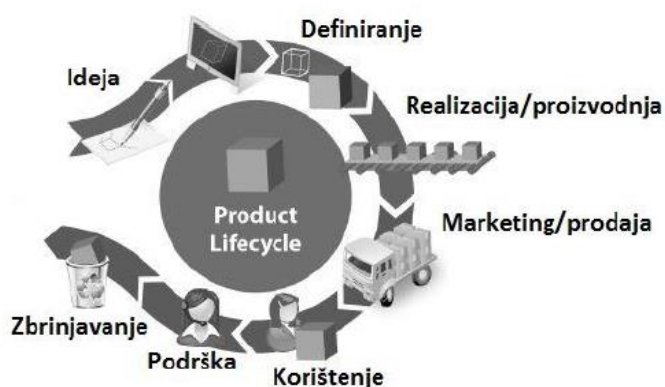
2.2. Faze upravljanja životnim ciklusom proizvoda

Iako kompanije najveću brigu o proizvodu imaju tijekom njegovog osmišljanja i nastajanja, PLM je koncept koji nastoji povezati proizvod i njegovog tvorca kroz cijeli životni vijek proizvoda. Takav koncept se može podijeliti u šest faza[3]:

- **Ideja** – stvaranje koncepta; pojavljuje se na početku projekta kada tvrtka prima informacije o proizvodu sa puno strana: od korisnika, dobavljača, marketinga, tvornice, tržišta itd. Stvaranje početne skice, ideje se pretvaraju u skice, crteže i dijagrame preko kojih se objašnjava sama važnost proizvoda. U toj fazi veliki značaj imaju sustavi poput CRM-a i SRM-a.
- **Faza definiranja** – pisanje projekta; faza u kojoj se skice pretvaraju u tehničke crteže, modeliranje je gotovo i proizvod je definiran (materijal, dimenzije i tolerancije). Provode se simulacije na proizvodu, ali i simulacije cijelog proizvodnog sustava kako

bi se definirali optimalni parametri te unaprijed otklonili potencijalni problemi u proizvodnom sustavu koji bi mogli uzrokovati kašnjenja, škart i moguće financijske probleme.

- **Faza realizacije** – proizvodnja; proizvodnja i parametri proizvodnje su isplanirani i definirani, proizvodnja kreće u serijama, a veličine serija ograničene su kapacitetima tvrtke. Balansiranje kapacitetima pojedinih radnih mjesta osigurava se najbolja moguća iskoristivost sustava. Uspostavljeni su odnosi sa dobavljačima. Faza završava završnom montažom i skladištenjem.
- **Marketinška faza** – distribucija i prodaja; distribucijskom logistikom definirani su putevi od proizvođača do kupca kako bi se osiguralo da proizvod dođe kupcu u najboljim mogućim uvjetima. Marketinška faza često počinje i prije faze realizacije kako bi se dobila povratna informacija o proizvodu čime su moguće dodatne prilagodbe željama tržišta.
- **Faza korištenja i podrške** – korištenje i održavanje; sa gledišta korisnika ova faza počinje s uporabom proizvoda i traje sve do kraja životnog vijeka proizvoda. Iz pogleda proizvođača ova faza je početak podrške kupcu i početak održavanja proizvoda.
- **Faza zbrinjavanja** – ova faza označava kraj životnog vijeka proizvoda i otvara mogućnost tri različita scenarija: recikliranje, uništenje ili ponovno korištenje proizvoda uz dodatnu obradu. Ovo je faza u kojoj se može odrediti utjecaj proizvoda, kroz cijeli životni vijek, na okoliš, a ujedno se može ocijeniti i utjecaj koji je imao na ljudsko zdravlje. Svaki proizvod dolazi do faze zbrinjavanja, a njegov životni vijek ovisi o vrsti sirovine od koje je napravljen, namjeni uporabe, načinu uporabe i sl.



Slika 2.1 Faze PLM-a[3]

2.3. Implementacija PLM-a

Upravljanje životnim vijekom proizvoda je koncept koji zahtjeva prilagođavanje od strane svakog dijela sustava koji je u dodiru s proizvodom. Ako se koncept upravljanja životnim vijekom proizvoda proširi na upravljanje životnim vijekom proizvoda i procesa (eng. *Product and Process Lifecycle Management - PPLM*) onda je jasno koliko je to širok pojam i koliko zahtjeva resursa i znanja za implementaciju.

PLM koncept zahtjeva integraciju na svakoj razini poduzeća jer upravo efikasna suradnja između različitih odjela doprinosi efikasnosti cijelog proizvodnog sustava, kvaliteti proizvoda, brzoj prilagodbi stanju na tržištu i svim ostalim izazovima koji se postavljaju pred neki sustav. Također, za uspješno implementiranje koncepta potrebna je programska podrška u obliku informacijskog sustava koji podržava sve procese vezane za izmjenu informacija i podataka te potrebni softveri koji omogućavaju brže konstruiranje, simuliranje i upravljanje s alatima i strojevima.

Implementacija se može provesti koristeći okomitu (metodologija "vodopada") ili horizontalnu (agilna metodologija) integraciju procesa i odjela [2]. Vrsta odabira metodologije ovisi o zahtjevima i željama sustava. Ponekad su na nekoj razini sustava upotrijebljene obje metodologije kao najbolja kombinacija fleksibilnosti i strukturiranosti.

Metodologija vodopada je sekvencijalni proces, često korišten u razvijanju i implementaciji softvera, u kojem je napredak teče polagano s više razine na nižu, baš kao kod vodopada. Originalna metoda vodopada uključuje faze definiranja zahtjeva, projektiranja, implementacije, verifikacije i održavanja, ali u današnje vrijeme koristi se mnogo različitih varijacija metodologije vodopada, ovisno o tipu projekta i području primjene. Ovakva metoda je relativno lagana za upravljanje, ali osigurava manje fleksibilnosti za promjene tokom projekta a zbog sekvencijalnog pristupa sama metoda zahtjeva više vremena da bi bila ispravno implementirana. [2]

Agilna metodologija je bazirana na iterativnom i inkrementalnom razvoju, gdje su zahtjevi i rješenja razvijeni kroz suradnju između poprečnih¹ timova. Takav pristup promiče adaptivno planiranje, evolucijski razvoj, iterativni pristup unutar nekog vremenskog razdoblja, i potiče rapidni i fleksibilni odziv na promjene kroz razvojni i implementacijski ciklus. Agilna metoda, generalno, zahtjeva vrlo čvrstu kontrolu i vrlo čvrsto upravljanje potencijalima, točan

¹ Poprečni timovi – timovi, odjeli, koji se nalaze na istoj hijerarhijskoj razini

raspored i troškove, a najbitnije od svega je imati iskusnog projektnog menadžera kako bi pristup bio uspješno proveden. [2]

Da bi PLM mogao biti uspješno implementiran moraju biti uključeni slijedeći elementi [2]:

- Projektni menadžment (eng. *Project management*),
- Upravljanje promjenama (eng. *Change management*),
- Projektno rješenje koje uključuje:
 - Poslovna rješenja i procese,
 - Arhitekturu sustava,
- Instaliran softver,
- Konfiguracija i prilagodba sustava,
- Integracija aplikacija (CAD, ERP i druge),
- Protok podataka koji uključuje:
 - Čišćenje podataka,
 - Alate za protok podataka,
 - Vraćanje podataka iz baze podataka,
 - Pripremi i izvođenje,
 - Uvoz podataka u PLM sustave,
- Testiranje i ocjenjivanje,
- Obuka za korisnike i systemske administratore.

Obuka je jedan od neizostavnih dijelova, jer je važno da korisnici znaju koje su mogućnosti i prednosti implementiranog sustava. Nepravilno korištenje sustava i opiranje promjenama može ugroziti provedbu cijelog koncepta što bi samo izazvalo dodatne troškove i neuspjelu implementaciju tako vrijednog koncepta za cijeli sustav.

2.3.1. Troškovi implementacije

Troškovi implementacije ovise o brojim elementima i faktorima koji su uključeni u cijeli sustav te zbog toga mogu dosta varirati. Pravilo je da se ukupni trošak po korisniku smanjuje što je više korisnika uključeno u sustav. Također, cijena implementacije ovisi o opsežnosti funkcija i koji su sve dijelovi poduzeća uključeni u PLM sustav. Prikaz udjela troškova po pojedinom elementu PLM sustava dan je u tablici 2.1.

Tablica 2.1 Prikaz troškova implementacije PLM-a po faktorima[2]

Element troška	Tip troška	Udio	Ovisnost troška o:
Softver	Kapitalna investicija – samo jednom	30%	<ul style="list-style-type: none"> • Broj korisnika • Tipu korisnika : autori ili promatrači • Zahtijevanoj funkcionalnosti i modulima. Mogućnosti korištenja: stalna ili na zahtjev • Tipu licence • Cijeni i popustima
Održavanje softvera	Ciklički trošak	6%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju korisnika • Tipu korisnika: autori ili promatrači • Zahtijevanoj funkcionalnosti i modulima • Mogućnosti korištenja : stalna ili na zahtjev • Tipu licence • Cijeni i popustima
Hardver	Kapitalna investicija – samo jednom	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju korisnika • Broju mjesta • Zahtijevanoj konfiguraciji • Željenim performansama • Količini podataka i potrebnoj memoriji • Dostupnosti sustava i neprekidnosti rada • Mogućnosti korištenja : stalna ili na zahtjev • Cijeni i popustima
Edukacija i izbor softvera	Jednokratni trošak	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju uključenih sustava • Razumijevanju PLM-a

			<ul style="list-style-type: none"> • Znanju tržišta • Trajanju edukacije • Temeljitosti procjene • Uključenosti vanjskog PLM savjetnika
Optimizacija procesa	Jednokratni trošak	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju procesa • Veličini organizacije • Dokumentaciji postojećih procesa i navika • Metodologiji • Razumijevanju PLM-a • Uključenosti vanjskog PLM savjetnika
Usluga implementacije	Jednokratni trošak	25%	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebnoj konfiguraciji i prilagodbi • Uvjetima ugovora
Trening	Jednokratni trošak	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Vrsti treninga : prodavač ili stručnjak • Materijalu za trening: standardni ili po narudžbi • Mjestu treninga: kod prodavača ili u vlastitoj tvrtki ili preko weba
Protok podataka	Jednokratni trošak	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Pristup: manualni ili automatizirani • Broju izvora podataka • Tipu podataka • Kvaliteti podataka • Kvantiteti podataka
Podrška nakon implementacije	Ciklički trošak	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Trajanju • Tipu i razini podrške • Zahtijevanom roku odaziva • Zahtijevanoj dostupnosti sustava • Satnici i popustima

2.3.2. Prednosti implementacije PLM sustava

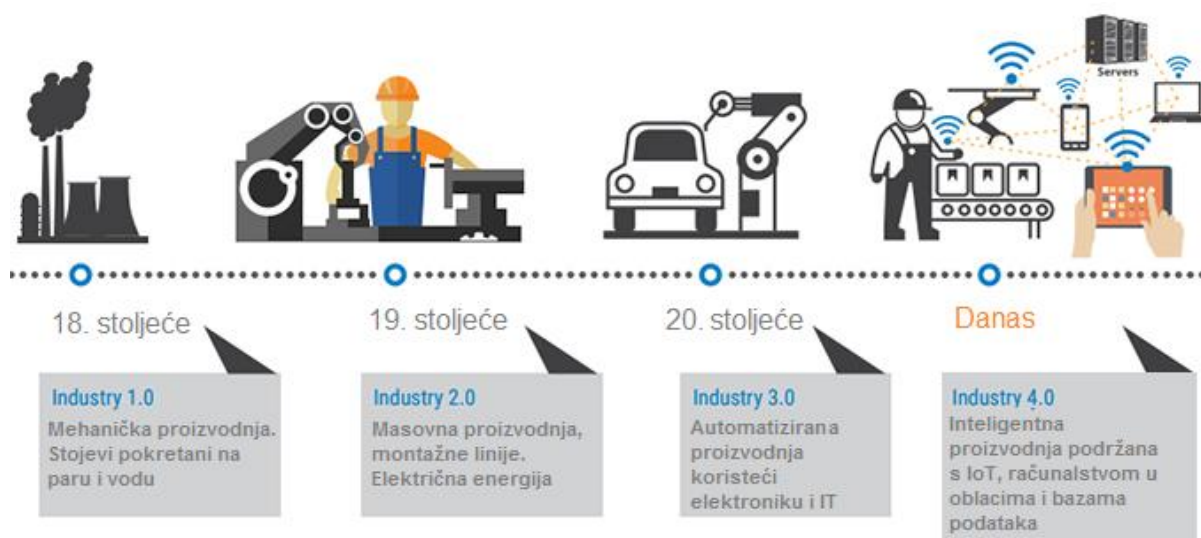
Korištenje PLM koncepta kao sustava za upravljanje s podacima o proizvodu i automatizaciju nekih poslovnih procesa, općenito rezultira poboljšanjem efikasnosti sustava što je uzrok razvijanju novih proizvoda, skraćenje trajanja proizvodnog ciklusa, smanjenje troškova, povećanje produktivnosti i kvalitete proizvoda i procesa. Implementacijom PLM koncepta omogućava se rješavanje problema poput[2]:

- Razvijanje, proizvodnja i plasiranje novog proizvoda na tržište,
- Usklađivanje proizvodnih ciklusa,
- Uvid u procese,
- Prikupljanje, korištenje i dijeljenje podataka,
- Ponovno iskorištavanje podataka,
- Sigurnost podataka i intelektualnog vlasništva,
- Prilagođavanje promjenama (u narudžbama i procesima),
- Iskorištavanje resursa,
- Analiza procesa i podataka.

Kao glavni uzrok svih poboljšanja može se navesti povećani tok informacija. Prikupljanje, pohranjivanje, obrada i dijeljenje informacija i podataka su postali među najbitnijim procesima unutar organizacije jer se svaka odluka temelji upravo na kvaliteti tih procesa. Sustav da bi bio uspješan zahtjeva velik protok informacija između svih dijelova organizacije koji sudjeluju u realizaciji proizvoda na tržištu. Upravo zbog karakteristike prikupljanja, obrade i dijeljenja informacija, sustav upravljanja životnim ciklusom proizvoda može se povezati s Industrijom 4.0.

3. INDUSTRIJA 4.0

Industrija 4.0 označava sinonim za četvrtu industrijsku revoluciju, a predstavlja koncept automatizacije proizvodnje i procesa vezanih uz proizvodne procese te razmjenu podataka unutar sustava te interakciju između različitih sustava. Uvođenjem interneta u proizvodni sustav te omogućivanjem komunikacije između različitih elemenata sustava, stvorena je atmosfera veće kontrole, ali ujedno i veće fleksibilnosti sustava koji može reagirati u svakom trenutku na temelju prikupljenih informacija. Industrija 4.0 se temelji na kibernetско-fizičkom proizvodnom sustavu, odnosno na modelu „pametne tvornice“ (eng. „*Smart Factory*“ ili „*Smart Enterprise*“). Pametna tvornica sadrži nekoliko karakteristika poput proizvodnje pametnih personaliziranih proizvoda, pružanja usluga uz proizvodnju proizvoda, te visoku razinu suradnje unutar proizvodnog sustava te suradnje s kupcima.



Slika 3.1 Vremenski prikaz razvoja industrije² [4]

Gospodarstvo svake zemlje bi se trebalo temeljiti na proizvodnji koja osigurava stvaranje kvalitetnih proizvoda te konkuriranje na globalnom tržištu. Bitna prednost pametne tvornice je da se temelji na znanjima i vještinama sudionika na svim razinama, od radnika do znanstvenika, inženjera i menadžera.

² IoT – eng. *Internet of Things* – predstavlja uređaje koji na osnovi senzoričke ostvaruju interakciju između drugih pametnih uređaja te osoba.

Vizija inovativnog pametnog poduzeća za sljedeću generaciju proizvodnje može se sažeti u sljedećim značajkama:

- lean production (vitka proizvodnja),
- fleksibilnost,
- agilnost,
- učinkovitost,
- korištenje nužnih informacija,
- jasna predviđanja i sigurnost.

Sve ove osobine rezultiraju dugoročnom održivošću. Tehnologija donosi napredak i osigurava budućnost pa i u smislu novih radnih mjesta.

Potaknuto širokom upotrebom interneta, razvojem različitih uređaja poput računala, tableta i pametnih telefona koji svoju upotrebu sve više nalaze u proizvodnji, dolazi do sve češćeg preklapanja realnog i virtualnog svijeta koje je poznato pod pojmom Internet of Things (IoT) - internet stvari pri čemu se svjetsko gospodarstvo nalazi na pragu 4. industrijske revolucije. Ako se Industrija 4.0 promatra s tehnološke strane kao glavne elemente koji osiguravaju interakciju unutar sustava mogu se navesti računalstvo u oblacima, Internet of things, pametni strojevi te baze podataka. Ključni elementi Industrije 4.0 su prikazani na slici 3.2.



Slika 3.2 Ključni elementi Industrije 4.0 [4]

3.1. Internet stvari (eng. *Internet of Things – IoT*)

Pojam Internet of Things utemeljio je Kevin Ashton 1999. godine. Britanski znanstvenik tada je u svom radu uočio ograničenje interneta u kojem većinu podataka stvara čovjek.[5]

Veliki udio procesa danas ovisi o stvarima koje se odvijaju putem interneta. Bankarstvo se odvija preko interneta, edukacija, poslovni pothvati, poslovna komunikacija, danas se internet koristi čak i u medicinske svrhe gdje bolesnik pomoću svojih simptoma može u vrlo kratkom roku dobiti približnu dijagnozu za svoje bolesti, može se naručiti na pregled putem interneta i

još mnogo stvari. Danas se u najvećoj mjeri internet koristi za međusobnu komunikaciju između ljudi. Uočivši veliki potencijal takve brze komunikacije, stvorena je okolina za generiranje velike količine podataka, obradu te razmjenu podataka što omogućava podlogu za razne procese poput analize ili donošenja odluke.

Princip kako dvije osobe mogu komunicirati međusobno putem interneta i razmjenjivati svoja iskustva, znanja i savjete, primijenjen je i na sustav komunikacije između uređaja i strojeva, ali i s ljudima. Upravo je to navelo i razvoj ovakve teorije gdje je Internet of People postao Internet of Things (Internet stvari). Danas velike količine podataka kojima se raspolaže i napredak u pogledu pametnih uređaja i strojeva omogućuje da razni uređaji sami stvaraju podatke i međusobno komuniciraju bez direktne intervencije čovjeka. Sam pojam Internet of Things se u današnjici spominje u sve većoj mjeri te se integrira u sam razvoj uređaja. Međusobna komunikacija dvaju uređaja postaje normalna s čime se ljudi često susreću u svakodnevnom životu.

Interakcija među ljudima odvija se pomoću pet osjetila: vid, sluh, miris, okus i dodir. Na temelju tih pet osjetila ljudi doživljavaju svijet oko sebe i te informacije dijele komuniciranjem s ostalim osobama. Internet of Things sugerira da bi i uređaji mogli vršiti međusobnu komunikaciju na isti način – pomoću vlastitih osjetila. U veliki broj današnjih uređaja su već ugrađeni senzori koji imaju mogućnost prikupljanja velikog broja informacija, te slanja tih informacija putem interneta. Najbolji primjer ovakve primjene senzora su pametni mobiteli. U današnje mobitele su već ugrađeni mnogi senzori koji, analizom okoline stvaraju informacije (brzina, temperatura, udaljenost, svjetlina). Mobilni u svakom trenutku zna gdje se nalazi, ako se kreće, na koji način se drži u rukama, zna procijeniti jačinu svjetlosti okoline, zna prepoznati ljudski govor, čak ima i kameru koja mu služi kao osjetilo vida. Najvažnije od svega je što takve informacije može slati pomoću bežične mreže drugim uređajima što stvara podlogu za analize podataka i donošenja zaključaka te određenih odluka na temelju tih informacija.

3.2. Veza između IoT i Industrije 4.0

Analizom pojma IoT i njegovim karakteristikama nije teško uočiti kako bi takav način komunikacije između već spomenutog fizičkog i virtualnog svijeta donio mnoge prednosti. Kada se industrija 4.0 svede na razinu jednog proizvodnog pogona ona omogućava umrežavanje svih elemenata, počevši od ulaznih vrata, svjetala, grijanja, ventilacije, povezivanje strojeva pa sve do složenijih sustava poput zona skladištenja i komisioniranja.

Omogućuje u svakom trenutku uvid u bilo koji od segmenata tog sustava pokrivenog umrežavanjem, brzim dijagnosticiranjem grešaka kao i nadzorom, mogućnosti izrade mnogo kvalitetnijih izvještaja na temelju kojih se mogu podnijeti daljnje proizvodne aktivnosti. Takav sustav ne služi da bi se iz pogona izbacio radnik već služi kao vrlo kompleksna informacijska podrška koja vodi i nadzire proizvodne djelatnosti. Nove značajke proizvodnje koju industrija 4.0 nosi sa sobom su proizvodnja individualnih dijelova (individualno po zahtjevu kupca) pomoću izrazito fleksibilnog proizvodnog pogona koji usko povezuje kupca s poduzećem kao i procesom stvaranja dodatne vrijednosti.

3.3. Integracija

Integracija raznih sustava na svim nivoima je ključna kako bi se virtualni i stvarni, fizički svijet mogli povezati i međusobno komunicirati. U sklopu proizvodnih tehnologija, automatizacije i IT – a razlikuju se horizontalna i vertikalna integracija koja vodi ka „end – to – end“ rješenju (rješenju sa što manje posrednih slojeva). [6]

1. HORIZONTALNA INTEGRACIJA – različiti IT sustavi u različitim fazama planiranja i proizvodnje se integriraju bilo unutar poduzeća (npr. logistika, marketing, proizvodnja) ili između raznih firmi i subjekata.

2. VERTIKALNA INTEGRACIJA – hijerarhijska integracija (npr. aktuatori i senzori, vođenje, planiranje proizvodnje, proizvodnja...)

Prema ocjeni različitih stručnjaka industrija 4.0 zahtjeva ulaganja u razvoj i istraživanja u mnogim područjima kako bi se osigurala uspješna implementacija takvog koncepta u proizvodni sustav [7]:

- Standardizacija i referentna arhitektura,
- Ovladavanje složenim sustavima,
- Širokopojasna infrastruktura za industriju na cijeloj površini,
- Sigurnost,
- Organizacija rada i oblikovanje,
- Obrazovanje i usavršavanje,
- Pravni okvir,
- Efikasnost resursa.

Glavni elementi:

-
- Davatelji tehnologije – osiguravaju ključne proizvodne tehnologije, npr. strojeve, robote, aktuatore i senzore.
 - Davatelji (IT) infrastrukture – osiguravaju podršku za pohranu i obradu podataka, infrastrukturu za računalstvo u oblacima, itd.
 - Industrijski korisnici – tradicionalne proizvodne firme koje koriste nove tehnologije da optimiraju proizvodni proces ili proizvod.

Značajke proizvodnje implementirane industrije 4.0:

- Individualiziranje proizvoda,
- Visoka fleksibilnost proizvodnje,
- Manje serije uz brzu izmjenu proizvoda i veliki broj varijanti,
- Proizvodnja inteligentnih proizvoda, postupaka i procesa (Smart Production),
- Kompleksnost proizvodnje,
- Manje škarta,
- Veća konkurentnost,
- Povećana efikasnost proizvodnje,
- Zamjena klasične hijerarhijske proizvodnje sa manjim sustavima koji sami donose odluku na temelju dostupnih informacija,
- Samostalnost i fleksibilnost,
- Široka integracija kupaca i poslovnih partnera u procese stvaranje nove vrijednosti te ostale poslovne procese,
- Povezivanje proizvodnje i visoko kvalitetnih uslužnih djelatnosti, koji se stapaju u tzv. hibridne proizvode.

3.4. Povezanost Industrije 4.0 i PLM koncepta

Naglasak kod Industrije 4.0 je na međusobnoj suradnji svih elemenata unutar sustava, te samog sustava sa svojom okolinom. Kako bi to bilo moguće potrebna je izmjena informacija unutar sustava na svim razinama, između strojeva, ljudi i odjela, a sve u cilju poboljšanja proizvodnog procesa u smislu efikasnosti i produktivnosti, uvođenja novog proizvoda, zadovoljavanja želja kupaca, odgovora na izazove, poboljšanja kvalitete itd.

Gledano sa strane proizvodnih ciljeva, tj. ciljeva cijele organizacije, PLM i Industrija 4.0 imaju zajednički cilj, a to je povećanje efikasnosti cijelog sustava te briga o proizvodu. Oba se koncepta zasnivaju na izmjenama informacija te donošenja odluka na temelju analize prikupljenih podataka tako da se može reći da su prikupljanje, pohranjivanje, obrada i dijeljenje informacija procesi koji donose možda najviše vrijednosti. Jer upravo tim procesima se osigurava pripremljenost za reagiranje u kratkom roku i donošenja prave odluke za organizaciju. Općenito gledano, PLM koncept je dio Industrije 4.0 kao podrška i sredstvo provođenja procesa važnih za organizaciju. PLM obuhvaća brigu o proizvodu od njegovih najranijih faza pa sve do umirovljenja proizvoda, ali i o procesima vezanim za taj proizvod. Iako se u Industriji 4.0 odluke donose u tom određenom trenutku na temelju prikupljenih podataka, potrebno je definirati sve parametre procesa te moguće varijante.

Simulacija procesa, odnosno digitalna proizvodnja je jedan važan dio PLM-a koji služi kao alat za pripremu različitih varijanti proizvodnog procesa što omogućava brzu prilagodbu zahtjevima tržišta.

4. SIMULACIJA – DIGITALNA PROIZVODNJA

Simulacija je eksperimentalna metoda koja omogućava proučavanje stvarnog procesa pomoću njegovog modela na računalu. Stvarni sustav opisuje se modelom, a stanje sustava je određeno varijablama stanja koje je moguće podešavati te na taj način simulirati željene scenarije. Simulacije se koriste u mnogim područjima kako bi se predvidjele neke situacije te reagiralo prije nego što se neki događaj dogodi u stvarnosti te uzrokuje neželjene probleme. Tako se simulacija primjenjuje u računalstvu, građevinarstvu, logističkim aktivnostima, proizvodnim procesima, kod obuke pilota, razvijanju proizvoda i u mnogim drugim područjima.

Simulacija je moćan alat koji koristi realne podatke iz sustava kako bi predvidio buduće aktivnosti i događaje. Važan korak pri izradi modela je određivanje vrste podataka relevantnih za točnost simulacije te prikupljanje i obrada tih podataka. Potrebno je prikupiti i uvrstiti što više vrsta podataka kako bi se model mogao provjeriti te potvrditi kao valjan u usporedbi sa stvarnim sustavu. Što je točniji model to su i pouzdaniji rezultati koje simulacija daje te je moguće donijeti odluku koja za posljedice može imati manje ili više efikasan sustav. Pomoću simulacije moguće je predvidjeti koji dijelovi procesa su kritična mjesta, analizirati postojeće stanje te na lakši način unaprijediti budući proces što je sigurno korak prema zadovoljavanju korisnika na brži, jeftiniji i efikasniji način.

Programska podrška je nužna za provedbu simulacije pa tako na tržištu postoje mnoge verzije programa koji omogućavaju simulaciju u raznim područjima djelatnosti.

4.1. Siemens PLM

Siemens AG je svjetska kompanija koja nastoji u mnogim područjima tehnologije i inženjerstva djelovati na način da svojim proizvodima i dostignućima unaprijed okolinu i omogućiti kvalitetnije uvjete života i poslovanja. U Siemensu se vode idejom da poduzeća, a u tome i proizvodne sustave treba digitalizirati što će za posljedicu imati bolji protok informacija što donosi veće mogućnosti i bolju podlogu pri donošenju odluka, prilagodbi na nepredviđene situacije, većoj kvaliteti proizvoda i sl. Digitalizacija predstavlja platformu na osnovu koje su moguća unaprjeđenja svih elemenata sustava, ali i sustava kao cjeline. Kombinirajući sastavnice iz različitih grana tehnologije moguće je stvoriti sustav koji ima brzi odgovor na mnoge probleme koji se javljaju u svakodnevnom djelovanju.

Imajući na umu sve elemente modernog sustava i moguće probleme koji se javljaju u takvim sustavima, Siemens nastoji razviti proizvode koji na pravi način odgovaraju svim problemima koji su stavljeni pred korisnika. U tom smjeru, razvija se niz programskih paketa kao podrška koja će ubrzati procese i na kraju povećati kvalitetu sustava i proizvoda.

Unutar PLM programskih paketa Siemens je razvio rješenja za razna područja [8]:

- Razvijanje dijelova i provjera dizajna,
- Razvijanje sklopova i provjera konstrukcije,
- Planiranje automatizacije i robotike,
- Projektiranje i optimizacija postrojenja tvornice,
- Upravljanje kvalitetom,
- Upravljanje proizvodnjom,
- Upravljanje proizvodnim procesima.

4.1.1. Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix je programsko rješenje koje nudi podršku kod planiranja procesa kroz mogućnost simulacije i detaljne analize pojedinih dijelova sustava ili sustava u cijelosti. Kao predstavnik digitalne proizvodnje Tecnomatix omogućava sinkronizaciju stvaranja proizvoda kroz inženjering, organizacije proizvodnje te realne proizvodnje.

Današnji zahtjevi za ekološki prihvatljivim proizvodima i održivom proizvodnjom zahtijevaju od tvrtki stalno prilagođavanje i poboljšavanje svoje poslovne strategije. Tvrtke moraju iskoristiti svoje proizvodne kapacitete ako žele osigurati konkurentsku prednost. Inovacijom i prilagodbom tijekom čitavog životnog ciklusa može se ostvariti dvostruka dobit ako se izrađuje pravi proizvod i na pravi način. Proizvođači koji razmišljaju na taj način nastoje povećati produktivnost, optimizirati fleksibilnost kapaciteta i učinkovitije iskoristiti kapital kroz nekoliko bitnih segmenata napredovanja i prilagodbe:

- Povećanje vidljivosti procesa inovacija kroz poduzeće,
- Bolja suradnja inženjeringa s proizvodnjom,
- Fleksibilnija prilagodba stanju na tržištu,
- Kontinuirana optimizacija proizvodnih resursa i kapitala investicija,
- Smanjenje troškova strategijama održive proizvodnje,
- Digitalna proizvodnja kao način prilagodbe i organizacije.

Korištenjem Tecnomatix Plant Simulation-a tvrtke imaju mogućnost odgovoriti na zahtjeve tržišta na brži način, unaprijediti dosadašnju proizvodnju, povećati efikasnost i produktivnost te pripremiti se za uvođenje novog proizvoda u proizvodni lanac.

4.1.1.1. Prednosti

Korištenje Tecnomatix Plant Simulation-a kao dio PLM ciklusa unutar organizacije donosi brojne prednosti [8]:

- **Povećana produktivnost planiranja** – ponovno korištenje podataka i prilagođavanje novonastaloj situaciji. Otkrivanje i uklanjanje problema unutar proizvodnog sustava koji bi inače zahtijevali dugotrajne i troškovno intenzivne korektivne mjere tijekom proizvodnje. Dijeljenje i analiziranje informacija unutar digitalnog okruženja pruža uvid u različite faze razvoja procesa i utjecaja tih procesa.
- **Optimizirana proizvodna produktivnost** – minimiziranje kapitalnih ulaganja kroz bolje iskorištavanje postojećih kapaciteta. Optimiziranje logistike i performansi cijelog proizvodnog sustava. Optimiziranje korištenja resursa i ubrzavanje uvođenja novog proizvoda s dokazanim rješenjima za optimizaciju procesa koja uključuju više odjela i disciplina.
- **Smanjenje vremena razvoja procesa** – korištenje raznih alata koji sugeriraju najbolje rješenje od mogućih alternativa.
- **Upravljanje okruženjem za sigurnost i ergonomiju** – integriranje ergonomske simulacije i validacije.
- **3D dizajn i vizualizacija** – transparentni razvoj novih dijelova pogona i lakše predočavanje cijelog sustava.
- **Analiza i optimizacija logističkih aktivnosti** – smanjenje troškova rukovanja materijalom analizom troškova, vremena i udaljenosti transporta kroz različite scenarije tvorničkog rasporeda. Optimiziranje iskorištenosti prostora na razini postrojenja i transportnog sredstva analizom i vrednovanjem zahtjeva za materijalima, veličinama kontejnera, kriterijima slaganja spremnika i smjernicama za ulaz / izlaz.
- **Simulacija produktivnosti tvornice** - smanjenje vremena proizvodnje uzimajući u obzir unutarnje i vanjske opskrbne lance, proizvodne resurse i poslovne procese. Povećanje produktivnost postojećih sustava uz jednostavnu interpretaciju statističke analize. Smanjenje troškova novog sustava otkrivanjem i uklanjanjem problema prije

implementacije. Smanjenje zaliha primjenom različitih strategija za kontrolu linije, kao i provjerom usklađivanja transportnih linija.

Tecnomatix Plant Simulation je program koji omogućava vizualizaciju procesa i sustava što omogućava lakše praćenje proizvodnih tokova i tokova materijala. Pomoću raznih analiza moguće je utvrditi:

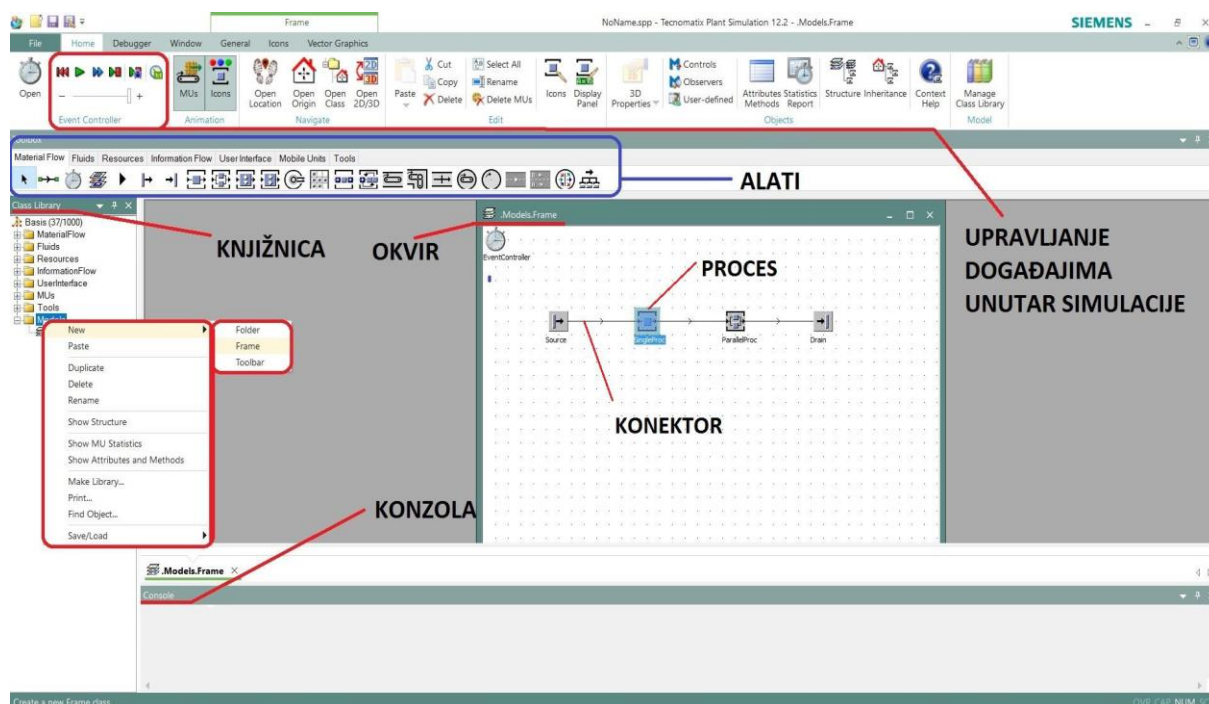
- Uska grla u procesu,
- Kapacitete strojeva,
- Intenzivnost transportnih puteva,
- Raspodjelu vremena,
- Statistiku ulaz / izlaz,
- Produktivnost radnog mjesta i radnika,
- Ganttov dijagram.

Koristeći razne alate cijeli proces pripreme i organizacije proizvodnje dobiva na dimenziji analitičnosti što kao posljedicu daje pripremu procesa sa svim mogućim scenarijima. Takva priprema omogućava uočavanje mogućih problema i prije nego se pojave u realnom sustavu što eliminira dodatne troškove i zastoje u proizvodnji. Kako bi simulacijski model bio dobar i stvarao realnu sliku procesa potrebno je prikupiti i obraditi velike količine podataka kako bi simulacijski uvjeti bili jednaki onima u realnom sustavu. Evaluacijom simulacijskog modela dobiva se sigurnost da se rezultati koje daje simulacija mogu koristiti kao podloga za donošenje odluka.

4.1.1.2. Osnove rada u Tecnomatix Plant Simulation

Pokretanjem programa otvara se mogućnost izbora rada u 2D, 3D pogledu ili u isto vrijeme u oba moda. Ponekad je raspored strojeva unutar pogona ograničenje koje se mora poštivati zbog validacije modela pa je zbog toga jednostavnije i bolje koristiti 3D pogled gdje je lakše vizualizirati i postaviti proizvodne i transportne tokove. U slučaju gdje je naglasak na nekim drugim uvjetima gdje raspored strojeva (operatora) nije glavni uvjet moguće je koristiti 2D pogled. Rezultati simulacije neovisno o pogledu moraju biti jednaki jer se moraju koristiti jednaki parametri u oba slučaja. Također, moguća je konverzija iz jednog pogleda u drugi što omogućuje kombiniranje najboljih svojstava iz oba pogleda.

Prikaz osnovnih funkcija unutar Tecnomatix Plant Simulation je prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1 Grafičko sučelje Tecnomatix Plant Simulation

Kako bi se postavio proces, tj. simulacijski model potrebno je iz alatne trake ubaciti operatore koji predstavljaju pojedine dijelove procesa. Simulirati se mogu procesi iz raznih područja djelatnosti, ali ovdje ćemo se ograničiti na proizvodni pogon pa će se tako i svaki operator odnositi na element proizvodnog procesa.

U nastavku su objašnjeni osnovni operatori koji se mogu koristiti u izradi simulacijskog modela.

- ➔ **Source** – izvor; služi za ulaz pokretnih jedinica u proces
- ➔ **Drain** – odvod; služi za izlaz pokretnih jedinica iz procesa
- ➔ **SingleProc** – pojedinačni proces; u simulaciji može imati ulogu operacije na stroju, pakiranja, lakiranja itd.
- ➔ **ParallelProc** – paralelni proces; više pojedinačnih proces koji se mogu odvijati paralelno.
- ➔ **Assembly** – sklop; služi za sklapanje više pozicija u jedan sklop, npr. montaža.
- ➔ **DismantleStation** – rastavljanje; služi za rastavljanje sklopova, npr. rastavljanje sklopa na dijelove, skidanje komada sa palete itd.



Buffer – međuskladište; služi kao međuskladište ili sredstvo za odlaganje.



Chart – dijagram; služi za analizu zauzetosti strojeva ili određivanje točnog broja komada na nekom procesu ili stanici.



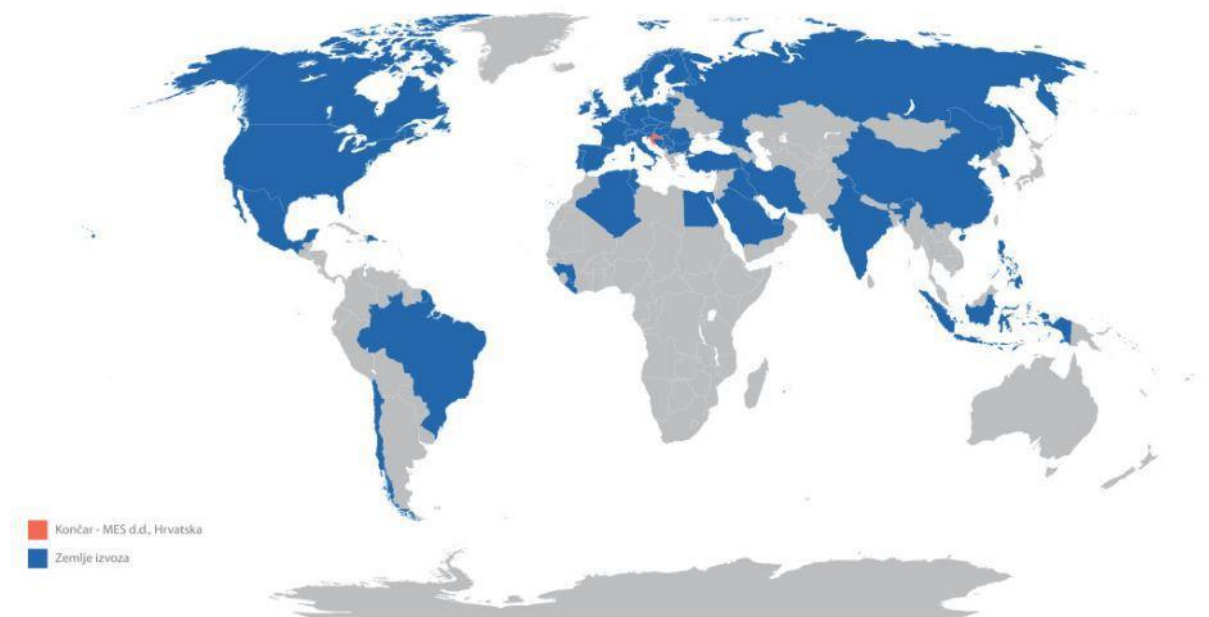
BottleneckAnalyzer – dijagram za analizu uskih grla; služi za pronalazak uskih grla unutar procesa.



SankeyDiagram – Sankijev dijagram; služi za prikazivanje intenziteta toka materijala između određenih procesa; što je deblja linija između dva procesa to je veći intenzitet toka materijala, što je linija tanja to je intenzitet toka materijala manji.

5. KONČAR MES d.d.

Končar - MES (mali električni strojevi) d.d. je hrvatska tvrtka koja se bavi proizvodnjom elektromotora (trofazni, jednofazni, elektromotori s kočnicom, protueksplozijski zaštićeni elektromotori i servo motori), ventilatora i pogona. Končar-MES d.d. je članica grupe Končar Elektroindustrija d.d. u čijem je sto-postotnom vlasništvu te zapošljava dvjestotinjak radnika. Proizvodni program je baziran na iskustvu te je podržan vlastitim razvojem, konstantnim unapređenjem tehnologije i proizvodnih procesa te servisom što čini dobru osnovu brige o proizvodu kroz cijeli njegov životni ciklus. Poslovnom strategijom nastoje biti stalno prisutni u krugu uspješnih proizvođača pogonske tehnike na svjetskom tržištu. Težnja stalnom rastu proizvodnje praćena je ispunjavanjem zahtjeva tržišta i želja kupaca diljem svijeta što dokazuje mjesto u samom vrh proizvođača elektromotora i pogona u regiji i činjenica da više od 60% svojih proizvoda izvoze na tržišta Europske Unije [9]. Na slici 5.1. prikazan je karta svijeta s oznakom gdje se sve izvoze njihovi proizvodi.



Slika 5.1 Zemlje u koje se izvoz proizvodi tvrtke Končar MES d.d. [9]

Društvo Končar MES d.d. potječe od ogranka firme Siemens koja je 1921. godine utemeljila dioničko društvo “ELEKTRA“. Od 1925. godine započeli su serijsku proizvodnju električnih proizvoda među kojima je i proizvodnja elektromotora po vlastitom projektu. 1946. godine poduzeće je promijenilo ime u Tvornica električnih strojeva “RADE KONČAR“. Tijekom

godina bilo je niz reorganizacija i promjena naziva, ali ne i promjena proizvodnog programa čime su stekli ugled proizvođača elektromotora temeljenog na dugogodišnjoj tradiciji koji je sačuvan sve do danas. Godine 1996. promijenio se organizacijski oblik društva te od tada posluju kao dioničko društvo KONČAR – MALI ELEKTRIČNI STROJEVI d.d. u sustavu KONČAR – ELEKTROINDUSTRIJA d.d.

Tvrtka nastoji stalno povećati plasmana proizvoda kako na domaćem tako i na inozemnom tržištu i u tu svrhu širi svoj proizvodni asortiman razvojem novih proizvoda kako bi zadovoljila specifične potrebe kupaca. Također, kako bi poduzeće bilo u korak s inozemnim proizvođačima ono konstantno investira u strojeve i ljude te konstantnim ulaganjem radi na razvoju novih proizvoda koji do najmanjih detalja udovoljavaju zahtjevima kupca. Kao proizvođač elektromotora tvrtka se okreće inovacijama koje će u budućnosti donijeti boljitak, kako za poduzeće, tako i za domaće i strane kupce koji zahtijevaju kvalitetan proizvod, prilagođen njihovim zahtjevima, osiguran servis te proizvod po pristupačnoj cijeni u odnosu na kvalitetu. Proizvode karakterizira visoka stabilnost kvalitete i pouzdana sigurnost proizvoda sukladnih certificiranoj dokumentaciji i tipnim certifikatima uz zadovoljenje zakonskih propisa i normi [9].

Kroz školovanje i edukacije radnika i ulaganje u opremu i strojeve nastoje unaprijediti proizvodni proces i kvalitetu proizvoda, ali i osigurati sigurnu okolinu radnika. Također nastoji se smanjiti utjecaj na okoliš kako bi proizvodi, ali i proizvodni procesi bili što više u skladu s održivom proizvodnjom i smanjenog utjecaja na okoliš. Upravljanje zaštitom okoliša uvršteno je u najviše poslovne prioritete te se ciljevi, planiranje i odvijanja procesa provodi u skladu s tim. Tvrtka je uspostavila sustav upravljanja zaštitom okoliša sukladno normi ISO 14001, a čijom dosljednom provedbom stalno provodi izobrazbu i motivaciju zaposlenih, razvija njihovu svijest o potrebi čuvanja okoliša i sprječavanja njegovog onečišćenja, promiče racionalno i učinkovito korištenje energije i drugih prirodnih resursa kako bi se smanjilo njihovo trošenje. Upravljaču svim aspektima okoliša smanjujući negativne utjecaje svojih aktivnosti i trajno poboljšava postignute rezultate upravljanja zaštitom okoliša poštujući u potpunosti hrvatske zakone i propise i primjenjujući važeće norme i standarde. [9]

5.1. Proizvodni program

Proizvodni program Končar MES d.d. je baziran na proizvodnji i održavanju komponenti i gotovih proizvoda u obliku elektromotora, ventilatora i elektromotornih pogona.

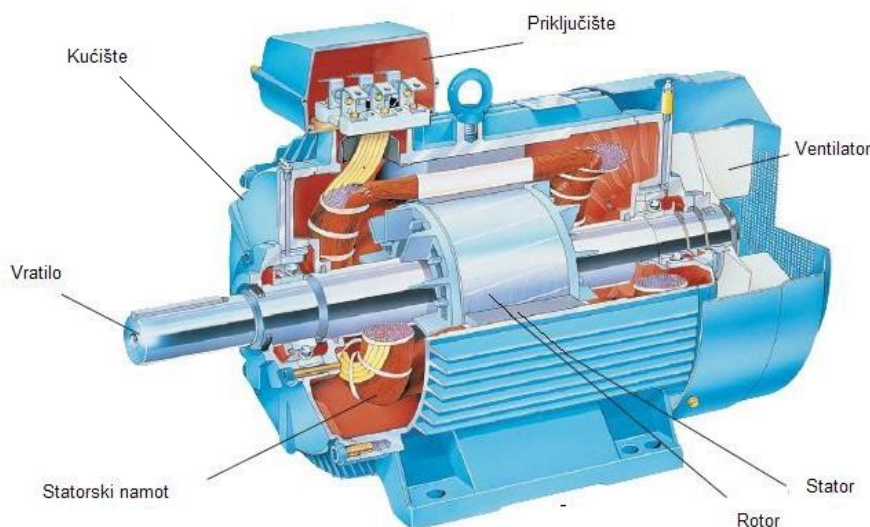
Tablica 5.1 Proizvodni asortiman [9]

	<p>Elektromotori</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trofazni kavezni asinkroni elektromotori, • Jednofazni asinkroni elektromotori, • Elektromotori s kočnicom, • Elektromotori u protueksplozivnoj zaštiti, • Elektromotori specijalne izvedbe, • Elektromotori u cijevi INOX.
	<p>Ventilatori</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aksijalni ventilatori, • Centrifugalni ventilatori, • Specijalne izvedbe aksijalnih i centrifugalnih ventilatora.
	<p>Komponente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Za proizvode iz svog proizvodnog programa nudi mogućnost nabave svih dijelova koje se ugrađuju u proizvode, a za proizvode iz kooperacije osigurava servis i popravak u najkraćem mogućem roku.
	<p>Elektromotorni pogoni</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektromotori s reduktorom, • Elektromotori s pretvaračem, • Elektromotori s upravljačkim ormarima <ul style="list-style-type: none"> ○ Elektromotori za vitla, ○ Pogoni za vitla.

5.2. Tehnološki proces izrade trofaznog kaveznog asinkronog elektromotora

Kao primjer proizvoda na kojem se temelji simulacija cijelog proizvodnog sustava uzet je trofazni kavezni asinkroni elektromotor oznake 5AZ 80B-4 – A440570. Trofazni asinkroni kavezni motori potpuno zatvorene izvedbe i hlađeni vlastitim ventilatorom (IC 411) nalaze najširu primjenu u svim dijelovima proizvodnih i procesnih aktivnosti u industriji te u brodogradnji. Projektirani su prema visokim zahtjevima moderne pogonske tehnike te radi svoje modularne konstrukcije, s lakoćom prilagodljivi različitim zahtjevima korisnika. Njihova su ekološka svojstva (niska bučnost i male vibracije, visoka iskoristivost i gotovo 100%-tna reciklabilnost) usklađena s pouzdanošću u svakodnevnoj uporabi, čak i u otežanim radnim i klimatskim uvjetima. Karakterizira ih visoka kvaliteta upotrijebljenih materijala, ležajevi podmazanim za duži vijek trajanja, završni premaz koji je otporan na utjecaje vremena i koroziju te izolacijski sustav visoke dielektričke čvrstoće predviđenim za rad preko frekvencijskog pretvarača. [9]

Postoji velik broj takvih motora različitih karakteristika i dimenzija u proizvodnom programu, a 5AZ 80B-4 – A440570 je uzet kao predstavnik grupe. Pri izradi simulacijskog modela nije potrebno uzeti sve proizvode u obzir nego je dovoljno naći predstavnika proizvoda koji će s vremenima izrade i ukupnom količine izrade u promatranom periodu biti zastupnik na kojem će se temeljiti cijela simulacija. Uzimanjem u obzir svih proizvoda model bi se zakomplicirao, a rezultat analize bi ostao isti jer se prvenstveno gleda produktivnost radnih mjesta i moguća poboljšanja u procesu. Na slici 5.2 je prikazana shema izgleda asinkronog motora.

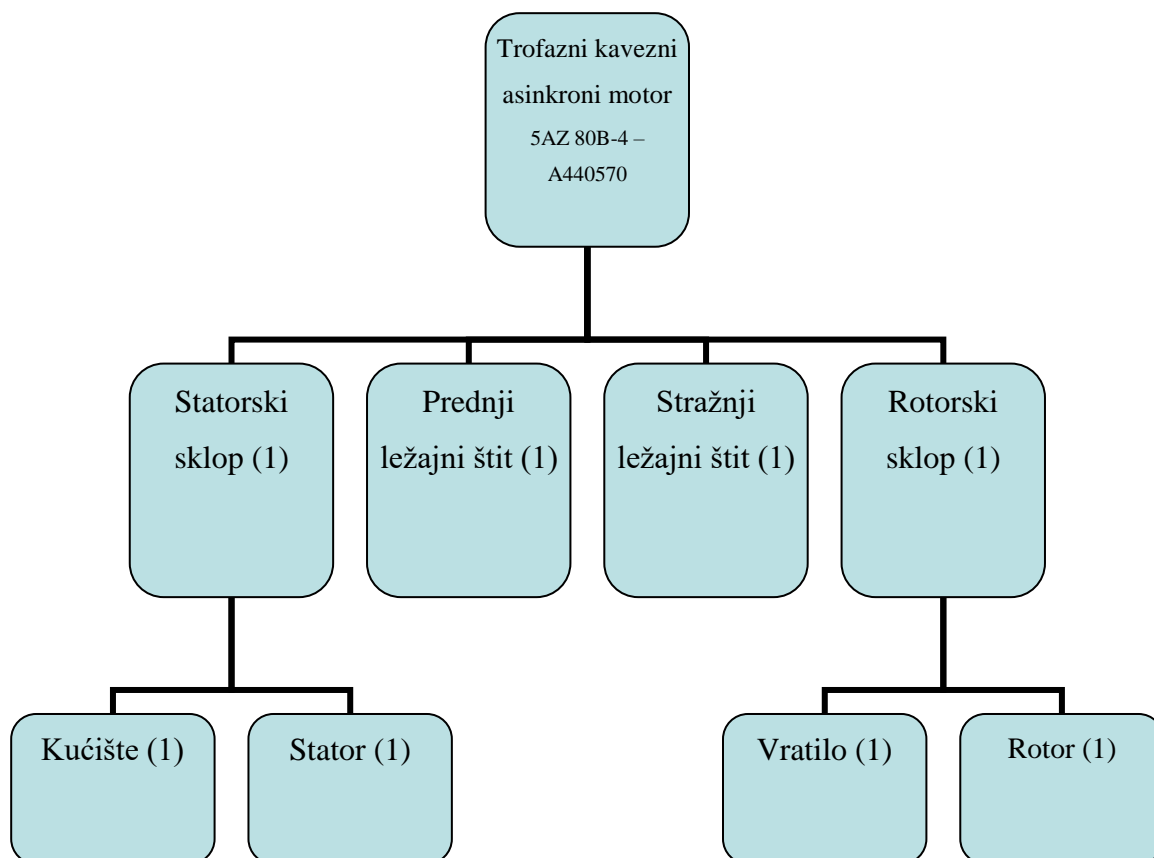


Slika 5.2 Shema asinkronog motora [10]

Trofazni kavezni asinkroni motor 5AZ 80B-4 – A440570 sastoji se od nekoliko ugradbenih elemenata:

- Statorski sklop
 - Kućište,
 - Stator.
- Rotorski sklop
 - Vratilo,
 - Rotor.
- Prednji ležajni štit,
- Stražnji ležajni štit.

Na slici 5.3 prikazana je količinska sastavnica za montažu trofaznog kaveznog asinkronog motora 5AZ 80B-4 – A440570.



Slika 5.3 Količinska sastavnica montaže za 5AZ 80B-4 – A440570

Proizvodni proces elektromotora 5AZ 80B-4 – A440570 se može podijeliti na dva dijela:

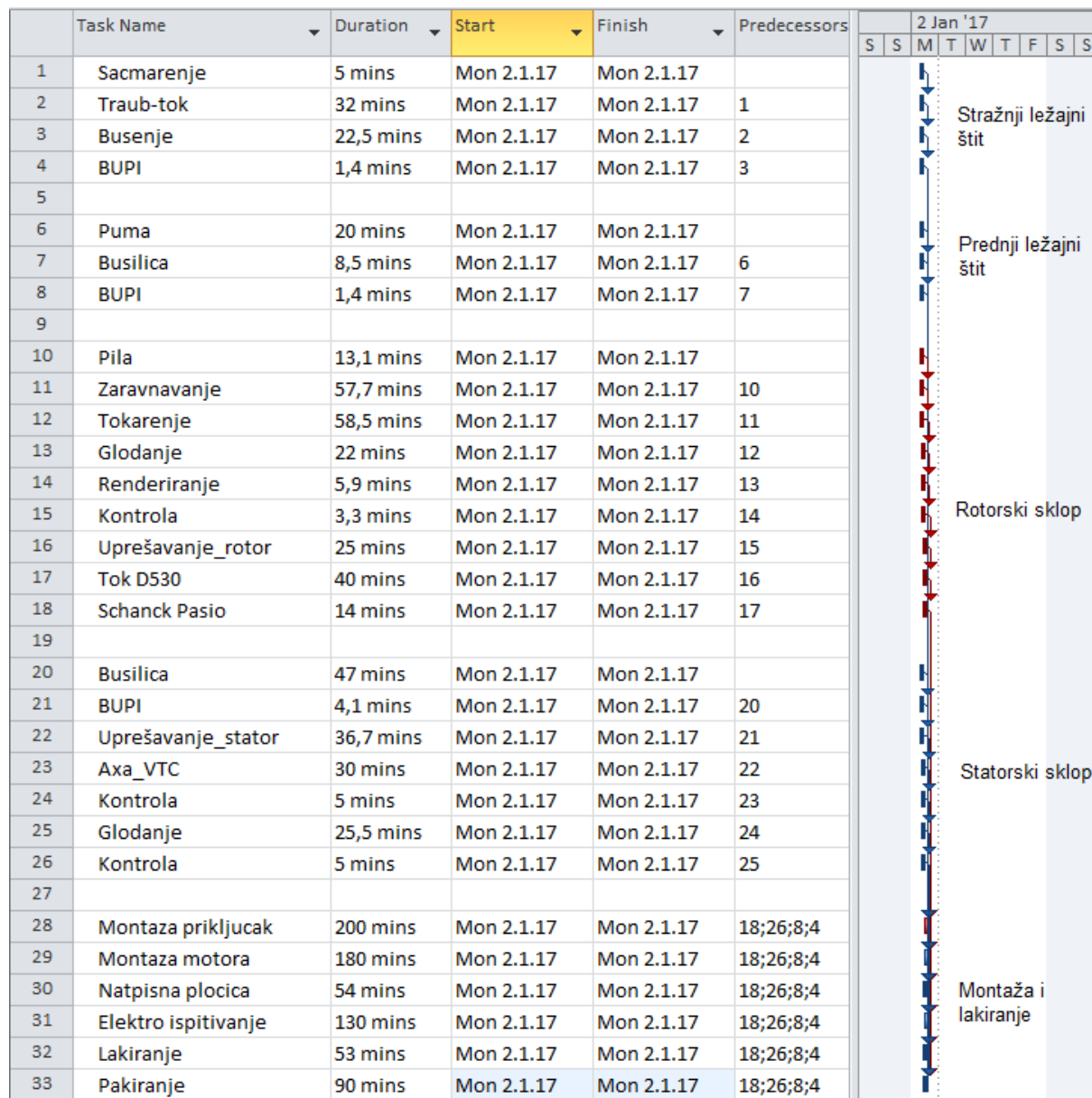
- strojna obrada,
- montaža i lakiranje.

Prema podijeli operacija je napravljen i raspored strojeva pri čemu se u prvom dijelom tvornice nalaze strojevi i radna mjesta za obradu pojedinih sastavnih dijelova elektromotora, dok su u drugom dijelu radna mjesta za montažu i lakiranje elektromotora. Detaljni raspored tvornice bit će dan u poglavlju 6. Izrada simulacijskog modela.

Pojedini sastavni dijelovi dolaze kao polugotovi proizvod koje je potrebno samo dodatno doraditi dok je neke sastavne dijelove potrebno izraditi u potpunosti. Tako gotovi dijelovi dolaze do montaže gdje se montiraju u završni proizvod te nakon toga lakiraju i ispituju. Detaljan tehnološki proces s vremenima obrade prikazan je u Prilogu I.

Proizvodnja unutar strojne obrade organizirana je u dvije smjene s ukupno sat vremena predviđenim za odmor u svakoj smjeni. Prilikom izrade simulacije i analize važno je obratiti pažnju na slične detalje jer mogu bitno utjecati na konačne rezultate. Dio pogona koji se bavi montažom i lakiranjem te završnim ispitivanjem organiziran je za rad u jednoj smjeni. Vikendom se ne radi osim ako se pojavi potreba zbog približavanja rokova isporuke ili drugih anomalija koje su moguće u proizvodnom sustavu. Prilikom izrade trofaznog kaveznog asinkronog elektromotora 5AZ 80B-4 – A440570, dijelovi te sklopovi moraju proći kroz ukupno 24 različita radna mjesta unutar tvornice. Takav proizvodni tok te tok materijala treba dobro analizirati i unijeti u model prilikom izrade simulacije proizvodnog sustava jer i najmanja aktivnost unutar procesa može imati veliki utjecaj na validaciju sustava te konačni rezultat. Transportni putevi mogu imati veliki utjecaj na ukupno vrijeme izrade bilo pojedinog proizvoda ili serije proizvoda. Također, bitno je definirati serije u kojima se proizvodnja odvija upravo zbog utjecaja intenzivnosti transporta između pojedinih radnih mjesta. U ovom primjeru proizvodnja je organizirana u serije od 30 proizvoda.

Na slici 5.4. je prikazan Ganttov dijagram za trenutnu proizvodnju od 30 komada u seriji. Prikazana su vremena koja su potrebna za izradu serije na pojedinom radnom mjestu te koja operacija prethodi drugoj.



Slika 5.4 Gantogram trenutne proizvodnje

Proces je prikazan na način da proizvodnja počinje prvi radni rad u siječnju zbog jednostavnosti daljnje analize. Vidljivo je da je proizvodnja serije od 30 proizvoda izvediva u samo dva radna dana. Prilikom postavljanja Ganttovog dijagrama trebalo je voditi pažnju o redoslijedu operacija. Može se vidjeti da se prilikom strojne obrade čekalo da se cijela serija završi na jednom radnom mjestu pa tek onda ide na drugo radno mjesto. Kod montaže i lakiranja je kontinuirana obrada što znači da proizvod jedan po jedan prelazi na drugo radno

mjesto nakon što je završila obrada na prethodnom. Takva organizacija je moguća zbog blizine i povezanosti radnih mjesta čime se omogućava takav način rada. Na slici 5.4 je vidljiv i kritični put koji je naznačen crvenom bojom. Kritični put je vremenski najdulji zbroj aktivnosti od početka proizvodnog procesa do kraja. Ovdje su kao kritični put naznačene aktivnosti vezane uz proizvodnju rotorskog sklopa (proizvodnja vratila i uprešavanje s rotorom) te prva faza montaže koja je ujedno i najduža operacija. Prilikom analize mogućih poboljšanja bilo bi potrebno razmotriti moguća poboljšanja u smislu smanjenja vremena aktivnosti na kritičnom putu kako bi se cijeli proces ubrzao. Može se primijetiti kako aktivnosti vezane uz strojnu obradu drugih dijelova traju kraće te ne diktiraju početak zadnjeg skupa aktivnosti, tj. montaže, lakiranja te završnog ispitivanja.

Ganttov dijagram je koristan alat koji omogućava prikaz rasporeda aktivnosti vezanih uz nekakav projekt, u ovom slučaju prikaz rasporeda aktivnosti vezanih uz proizvodnju. Potrebno je planiranje aktivnosti na način da se odredi vrijeme početka, procjenu trajanja te da li aktivnosti zahtjeva završetak prethodne aktivnosti ili se može odvijati paralelno s njom. Ovisnost od drugoj aktivnosti produžuje proces na način da je nemoguće izvršavati sljedeću aktivnost dok prethodna nije završila. To se može predočiti u smislu montaže gdje proces nije moguće započeti dok svi dijelovi potrebni za montažu nisu stigli na radno mjesto. Na osnovu toga se definira i kritični put.

6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA

Nakon što su prikupljeni svi podaci iz proizvodnog procesa potrebni za izradu simulacijskog modela, moguće je krenuti na modeliranje digitalne proizvodnje, a analizom u prethodnom poglavlju dobiven je temelj za provjeru simulacijskog modela. Prilikom izrade simulacijskog modela, korištene su neke pretpostavke i ograničenja koje su omogućile lakše modeliranje sustava te koje upozoravaju na točnost rezultata:

- Korišteni su podaci vremena obrade za samo jedan tip elektromotor iako u proizvodnom programu postoji puno više proizvoda. Korišteni podaci se smatraju kao reprezentativni uzorak,
- Prilikom unosa vremena pojedine operacije u simulacijski model korišteni su podaci komadnog vremena t_1 koje uključuje pripremno završno vrijeme t_{pz} , tehnološko vrijeme t_t i pomoćno vrijeme t_p .

$$t_1 = \frac{t_{pz}}{n_s} + (1 + K_p) \cdot (t_p + t_t) \quad (1)$$

t_1 – ukupno komadno vrijeme

t_{pz} – pripremno-završno vrijeme

n_s – veličina serije

K_p – koeficijent dodatnog vremena

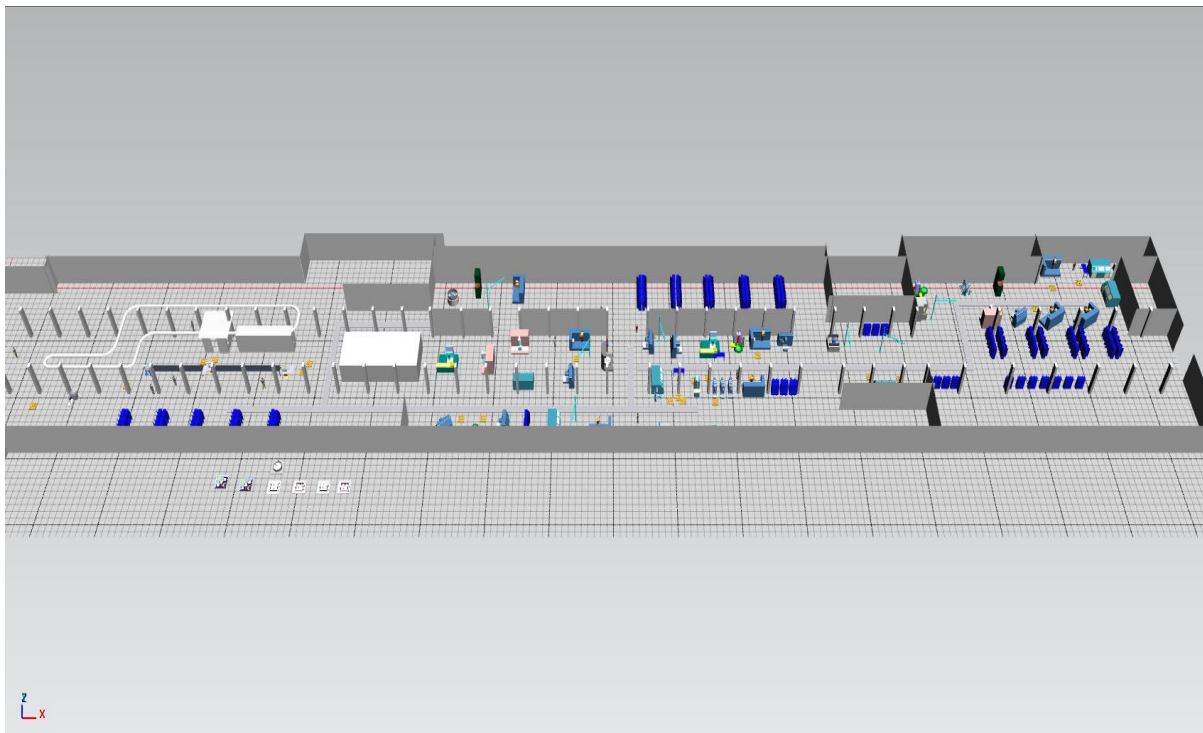
t_p – pomoćno vrijeme

t_t – tehnološko vrijeme

- Ako se više operacija odvija na istom radnom mjestu komadna vremena su zbrojena,
- Sva radna mjesta su postavljena na 90% dostupnosti (održavanje, kvarovi, ostali razlozi) – pretpostavka temeljena na iskustvu,
- Sirovine za izradu dijelova te poluproizvodi su dostupni u svakom trenutku,
- Dijelovi motora naručeni od vanjskih dobavljača su dostupni u svakom trenutku,
- Radna vremena pojedinih odjela pogona su određena fiksno (nema promjena radnog vremena ili prekovremenog rada).

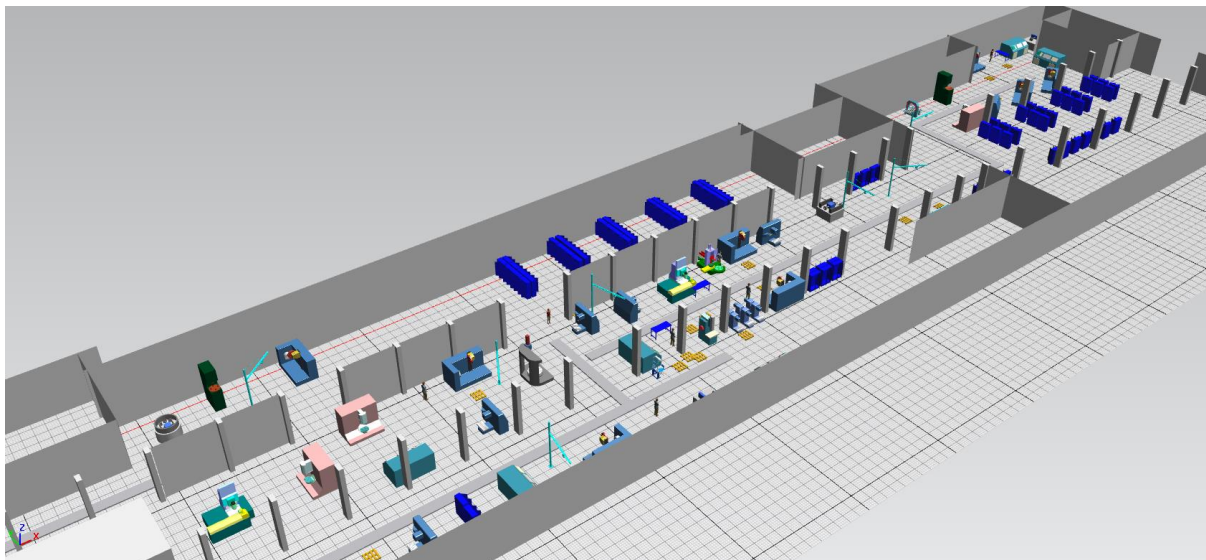
Rezultati simulacije ovise o točnosti i opširnosti podataka te se zbog toga mogu razlikovati od trenutnog stanja u proizvodnom sustavu. Također, nemoguće je predvidjeti sve poremećaje koji se mogu pojaviti u proizvodnom sustavu te je zbog toga priprema podataka iz stvarnog sustava najvažnija kako bi se smanjio utjecaj nepredvidivosti. Prikupljanjem podataka kroz duže vrijeme te kvalitetnom analizom i obradom moguće je doći do informacija koje će na pravi način upotpuniti simulacijski model i dovesti do veće razine točnosti. Prilikom razmatranja rezultata važno je imati na umu navedena ograničenja i pretpostavke kako se ne bi došlo do pogrešne percepcije rezultata te postupanja u skladu s tim. Važno je provjeriti i potvrditi simulacijski model kako bi se sve daljnje aktivnosti koje se temelje na simulaciji mogle provoditi bez straha od neuspjeha. Kao prvi korak provjere simulacijskog modela napravljen je simulacijski model postojećeg stanja proizvodnje gdje se mogu usporediti rezultati produktivnosti i zauzetosti pojedinih dijelova procesa u simulacijskom modelu i stvarnom sustavu.

Izrada simulacijskog modela krenula je s izradom rasporeda proizvodnog pogona i razmještajem strojeva i radnih mjesta. Ubacivanjem 3D objekata koji predstavljaju pojedine operatore (*SingleProc*, *Assembly* i sl.) dobiven je raspored strojeva kao u stvarnom sustavu. Prikaz rasporeda radnih mjesta je prikazan na slici 6.1.



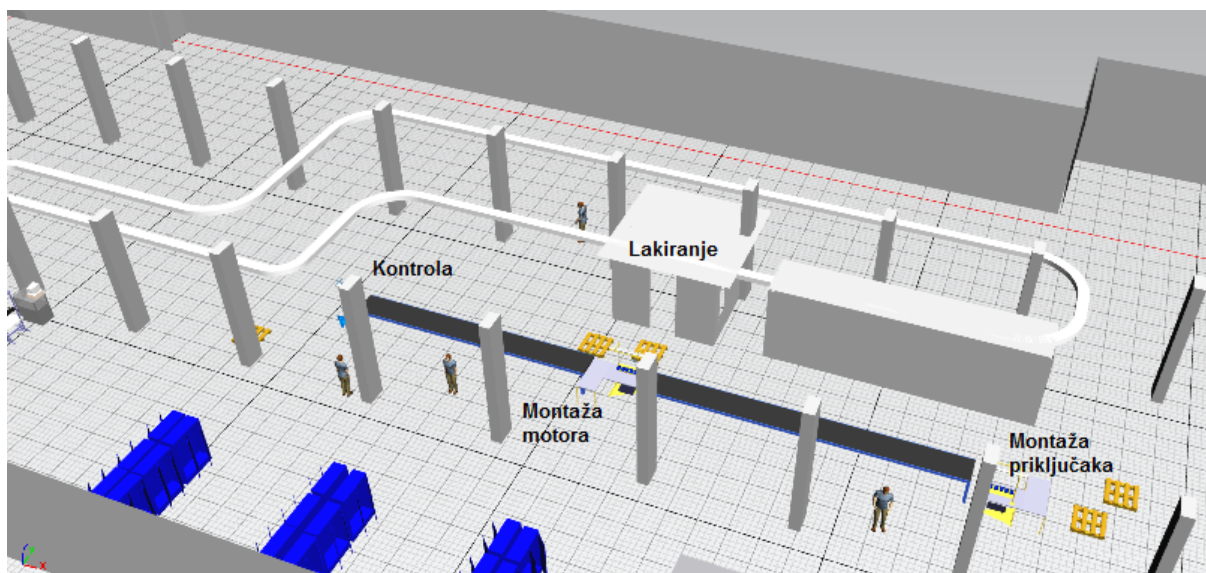
Slika 6.1 Raspored radnih mjesta

Treba napomenuti kako su 3D objekti samo simbolička vizualizacija pojedinih radnih strojeva i mjesta te su korišteni isključivo kao pomoć vizualizaciji cijelog proizvodnog sustava. Kako je već i rečeno, proizvodni pogon je podijeljen na dva dijela: strojna obrada koja uključuje obradu odvajanja čestica te sklapanje podsklopova te montaža i lakirnica. Odjel strojne obrade je prikazan na slici 6.2.



Slika 6.2 Odjel strojne obrade

Detaljniji prikaz odjela montaže, lakirnice te završnog ispitivanja je prikazan na slici 6.3.

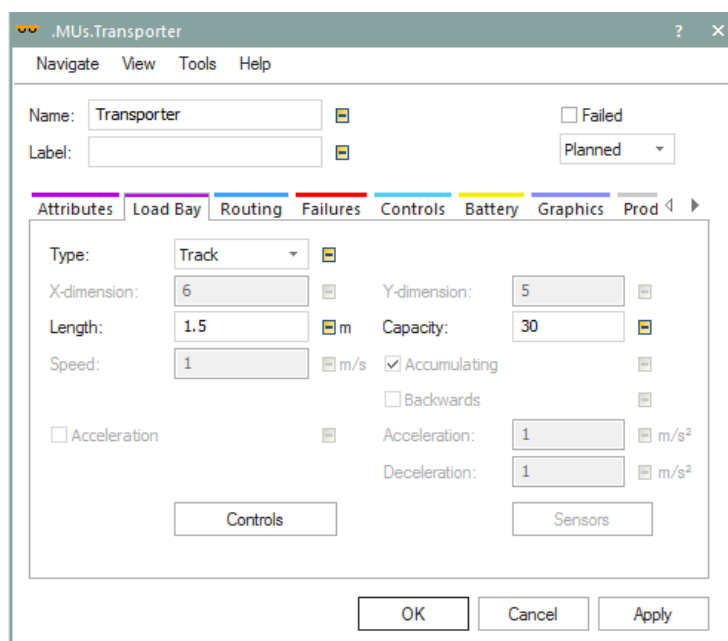


Slika 6.3 Odjel montaže, lakirnica i završno ispitivanje

Ova dva odjela se razlikuju se po organizacijskoj strukturi na način da odjel strojne obrade radi u dvije smjene po 8 sati, dok odjel montaže, lakirnica i završno ispitivanje rade u jednoj

smjeni po 8 sati. Također, kod strojne obrade proizvodnja ide u serijama dok se proces montaže i lakiranja odvija slijedno³.

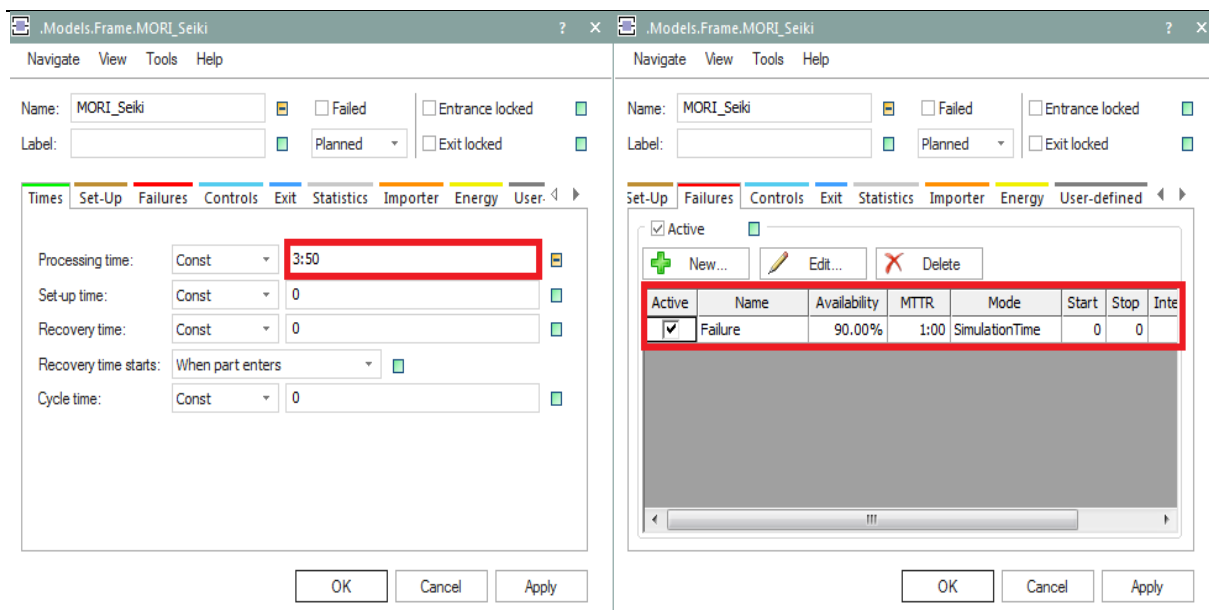
Nakon definiranja rasporeda radnih mjesta definirani su i transportni putevi između pojedinih strojeva. Kako je serija proizvodnje određena na 30 komada, tako su definirani i transportni putevi da se u jednom prijevozu odvezu svi komadi. Primjer definiranja transportnih puteva i prijevoznog sredstva prikazuje slika 6.4. Unutar stvarnog pogona transportna sredstva su podijeljena na viličare te kolica.



Slika 6.4 Definiranje parametara transportnog sredstva

Nakon što su definirani transportni putevi i postavljene veze između strojeva potrebno je definirati parametre vezane uz pojedine operacije. Primjer unosa parametara je prikazan na slici 6.5. kod operatora *SingleProc* koji predstavlja CNC tokarilicu *MORI-Seiki*.

³ Slijedna proizvodnja – proizvodnja organizirana tako da se operacije na izratku obavljaju jedna iza druge, bez čekanja da se na jednom radnom mjestu obavi obrada na cijeloj seriji proizvoda.



Slika 6.5 Definiranje parametara operatora

Na slici 6.5. je vidljivo kako su definirani parametri trajanja operacije i dostupnosti stroja. Ostali parametri poput *Set-up time* nisu definirani jer je to vrijeme sadržano u komadnom vremenu koje je uneseno u vrijeme trajanja operacije dobiveno iz informacijskog sustava Končara - MES. Nakon što su postavljeni svi parametri i veze među pojedinim radnim mjestima potrebno je provesti simulaciju i usporediti rezultate simulacije sa stvarnim stanjem kako bi se model potvrdio kao ispravan.

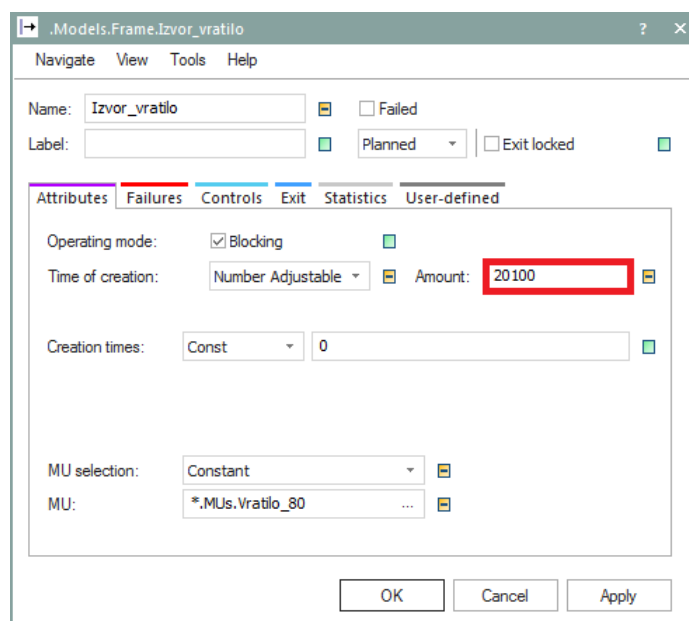
6.1. Rezultati simulacije postojećeg stanja

Pri postavljanju simulacije potrebno je odrediti dovoljno dugo vrijeme trajanja kako bi se izbjegli krivi zaključci na temelju rezultata kratkog trajanja simulacije. Takve greške se javljaju jer je potrebno neko vrijeme kako bi se sustav uhodao. Prilikom izrade ove simulacije vrijeme trajanja je postavljeno na 365 dana u što su uključeni vikendi i praznici. Kao ulaz u proces postavljeno je 20100 komada svakog pojedinog atoma (predstavlja pojedini dio proizvoda). Do tog broja se došlo jednostavnim izračunom koji se temelji na omjeru raspoloživog vremena u godini dana ako se radi u jednoj smjeni (montaža i lakirnica) i vremenu najdulje operacije montaže:

$$n = \frac{\text{Raspoloživo vrijeme}}{\text{Vrijeme najdulje operacije}} = \frac{2008}{0,1} = 20080 \quad (2)^4$$

⁴ Vrijeme je izraženo u satima, a rezultat u broju komada proizvoda

Na slici 6.6. je prikazano postavljanje parametara ulaza.



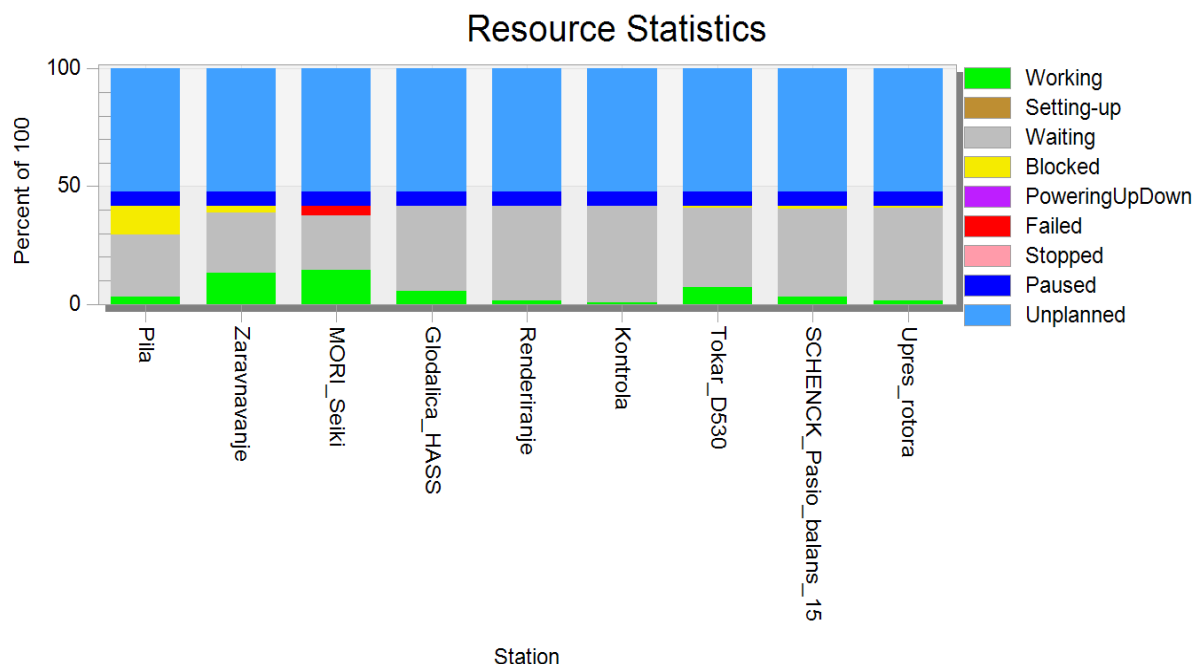
Slika 6.6 Postavljanje parametara ulaza

Nakon što su postavljeni svi parametri i okvirno je određen kapacitet pogona moguće je pustiti simulaciju i vidjeti kakvi su rezultati. Važno je napomenuti kako proračun u jednadžbi (2) je idealiziran i pojednostavljen te kako su rezultati u stvarnom sustavu različiti, ali kao posljedica prekovremenog rada, uvođenja druge smjene po potrebi, rada vikendima i sl. Tablica 6.1 prikazuje statistiku izlaza dobivenu simulacijom.

Tablica 6.1 Izlazna statistika

Vrijeme simulacije	365 dana
Ukupan broj komada	18.229
Prosječno vrijeme izlaza	28 min 46 sek
Broj komada po satu	2,08
Broj komada po danu	49,92

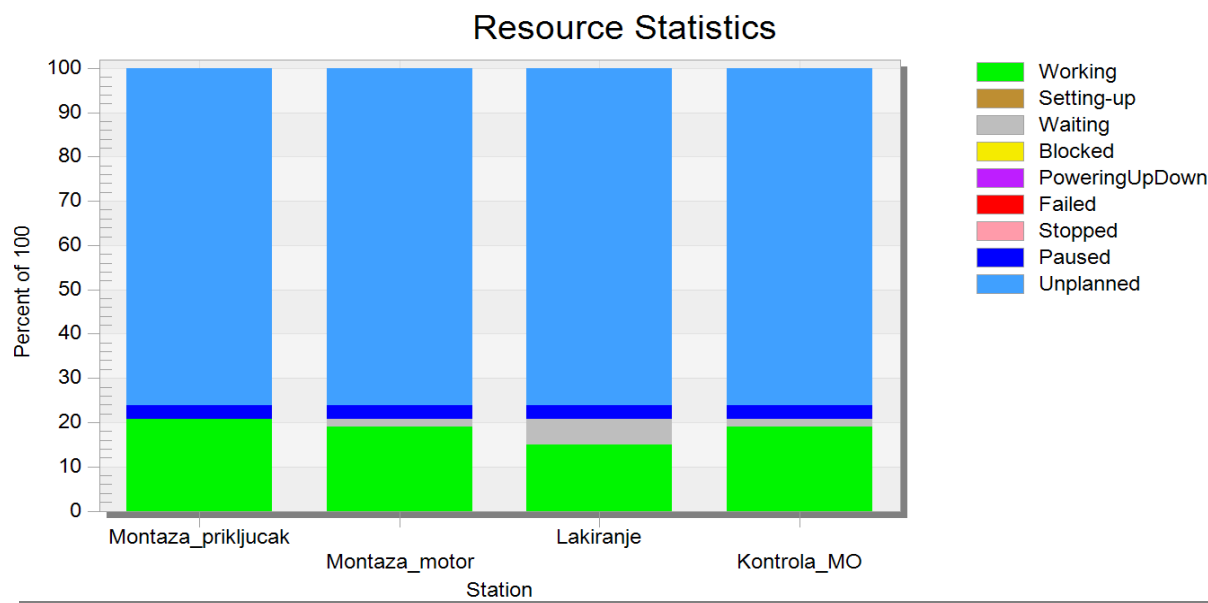
Ako se usporedi izlazni ukupni broj komada proizvoda i računom predviđeni kapacitet realnog sustava može se zaključiti da postoji odstupanje od približno 9 %. Iako postojeće odstupanje nije preveliko ono je posljedica uhodavanja procesa proizvodnje te dostupnosti strojeva koje je postavljena na 90 %. Uzimajući u obzir te okolnosti rezultat se može interpretirati kao da su odstupanja od idealnog modela gotovo zanemariva te svaka daljnja analiza se može promatrati kao dobra podloga za donošenje odluka. Rezultati su primjenjivi i realni što znači da simulirani model daje rezultate kao i realni sustav.

Slika 6.7. prikazuje zauzetost pojedinih strojeva koji sudjeluju u operacijama kritičnog puta⁵.**Slika 6.7 Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu**

Sivo područje prikazuje slobodno vrijeme stroja, tj. vrijeme kada stroj ili radno mjesto nisu zaposleni. Razlog malog postotka iskoristivosti radnog mjesta je u tome što je ukupno vrijeme trajanja operacija puno manje od ukupno raspoloživog vremena. Razlog tome je i što odjel strojne obrade radi u dvije smjene i što operacije strojne obrade traju kraće od operacija montaže. Sivo područje sugerira slobodni kapacitet koji je moguće iskoristiti obradom drugih radnih naloga. Svijetloplava boja na slici 6.7 predstavlja vrijeme izvan radnog vremena (neradna smjena, vikend). Ovakva statistika omogućava drugačiju raspodjelu posla na način da se serije strojne obrade ne izvode slijedno nego je moguće tempirati serije obrade po zahtjevima montaže. To sve zavisi o narudžbama i planovima proizvodnje, ali i o raznolikosti proizvodnog asortimana.

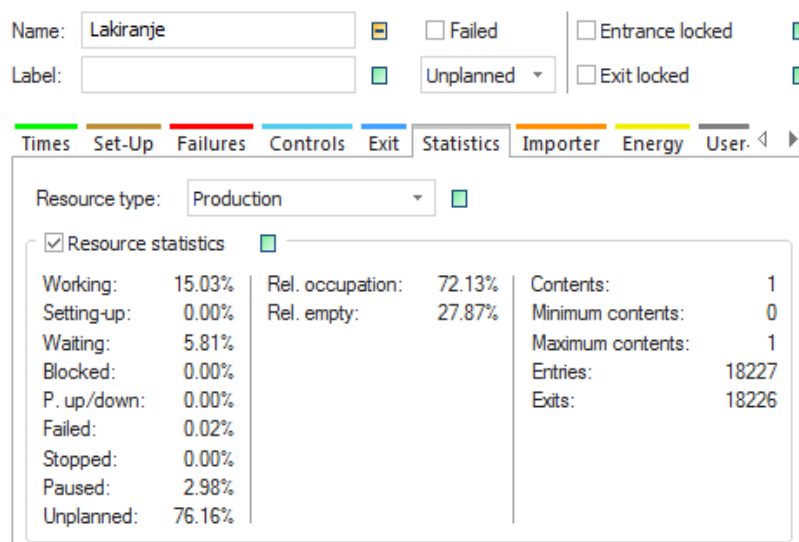
⁵ Kritični put – skup operacija čiji zbroj vremena iznosi najduže vrijeme trajanja. Sljedeća operacija je ovisna o prethodnoj i ne može započeti dok ova nije u potpunosti završena što znači da nema vremenskih rezervi između aktivnosti. Produži li se jedna, konačni rok se produljuje.

Slika 6.8. prikazuje statistiku zauzetosti radnih mjesta montaže, lakirnice te završne kontrole.



Slika 6.8 Statistika zauzetosti montaže, lakiranja i kontrole

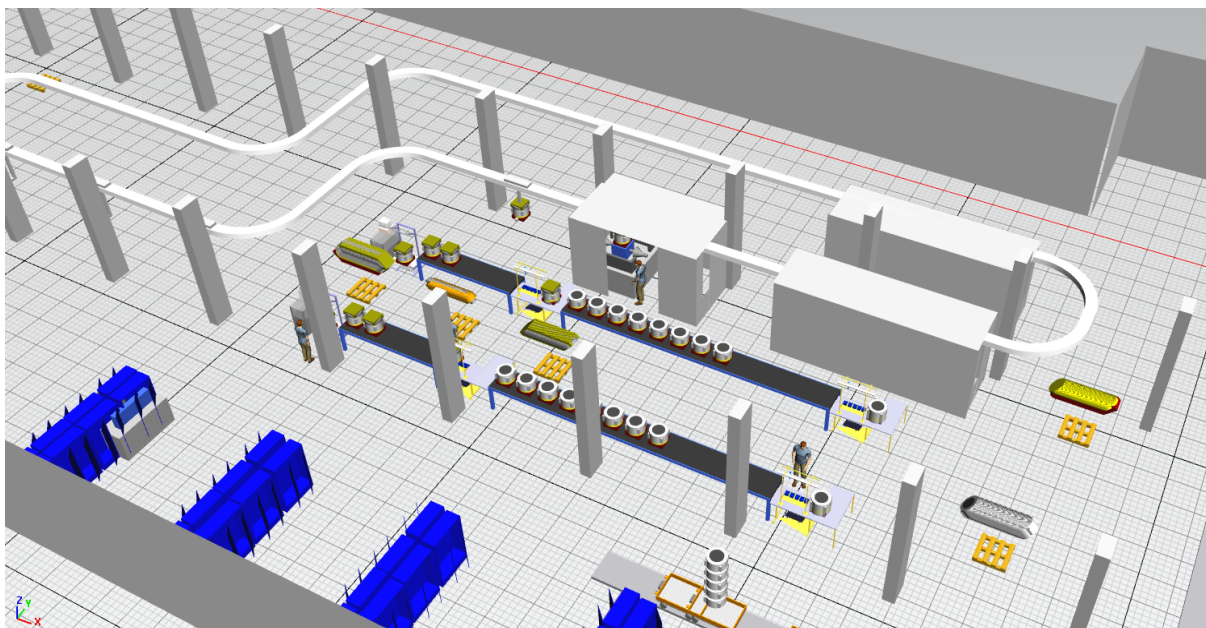
Iz slike 6.8 je vidljivo kako su tri radna mjesta koja uključuju završnu fazu stvaranja proizvoda gotovo 100 % vremena zauzeti što pokazuje kako je taj odjel usko grlo proizvodnje. Iako se teži da radna mjesta imaju što veću iskoristivost, sto postotna zauzetost ukazuje na problem u proizvodnji i mjesta mogućeg poboljšanja. Kako je završna faza proizvodnje lakiranje, a iskoristivost tog radnog mjesta je oko 72 % (slika 6.9), potrebno je smisliti način kako rasteretiti prethodna radna mjesta i povećati iskoristivost radnog mjesta lakiranje. Mogući prijedlog poboljšanja i način na koji se iskorištava PLM programski paket za digitalizaciju i simulaciju proizvodnje i koji su prednosti toga prikazani su u poglavlju 6.2.



Slika 6.9 Statistika radnog mjesta lakiranje

6.2. Prvi prijedlog poboljšanja postojeće proizvodnje

Uočavajući neiskorišteni kapacitet kod zadnje operacije u proizvodnom procesu (lakiranje), pokušalo se smisliti model koji bi pružio veću iskoristivost upravo te operacije. Jedno od mogućih rješenja je i uvođenje dodatne smjene za odjel montaže, lakiranja i završnog ispitivanja, ali ovdje se pokušalo smisliti tehnološko, a istovremeno i organizacijsko poboljšanje kojim bi se unaprijedio proizvodni sustav i postigla veća produktivnost. Jedini način kako bi se povećao broj komada koji dolazi do zadnje operacije je *dodavanje radnih mjesta za operacije montaže i kontrole* koje prethode operaciji lakiranja. Uvođenjem još jedne paralelne linije montaže i kontrole rasteretilo bi se prijašnju liniju, a u konačnici bi se povećala iskoristivost radnog mjesta lakiranja. Poboljšanje bi se sastojalo od dvostrukih radnih mjesta "montaža priključaka", "montaža motora" i "kontrola". Izgled prijedloga poboljšanja se nalazi na slici 6.10.



Slika 6.10 Modela A

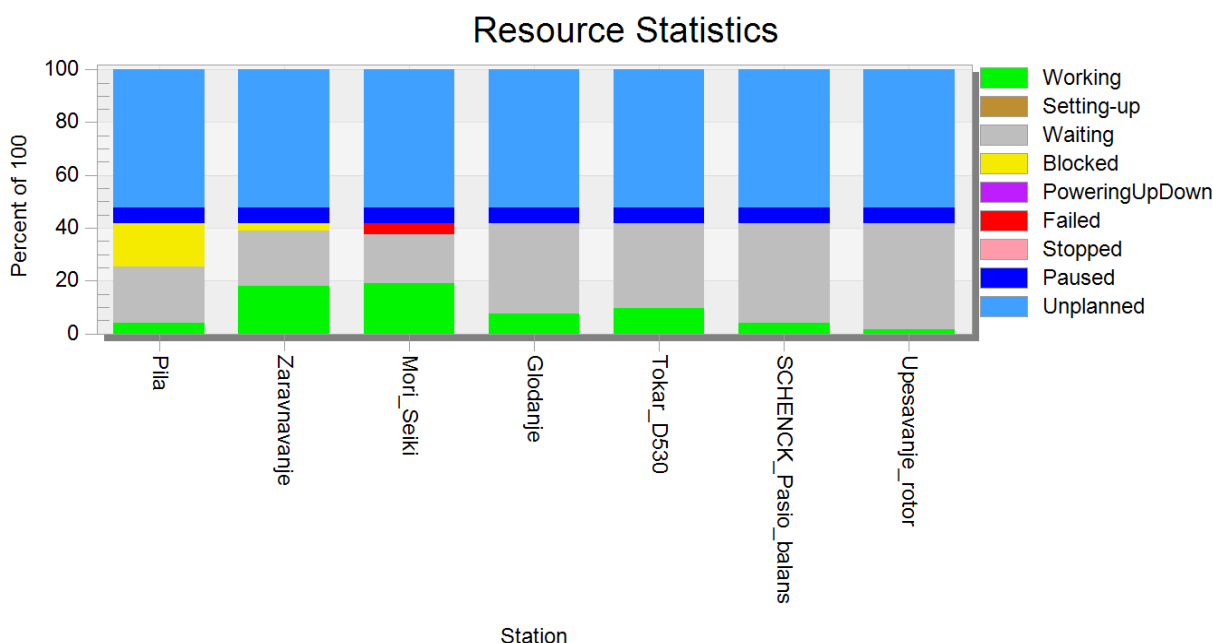
Kako simulacija sadašnjeg stanja prikazuje da radno mjesto lakiranje ima oko 30 % slobodnog kapaciteta, s novim modelom se to nastoji eliminirati. U skladu s tim volumen ulaznih jedinica u proizvodni proces povećan je za oko 30 % te u ovom modelu iznosi 26.000 komada.

Kapacitet proizvodnje strojne obrade za svako radno mjesto je dovoljno velik da se ne stvaraju uska grla zbog povećanja volumena ulaznih jedinica za 30 %. Statistika proizvodnje dana je u tablici 6.2.

Tablica 6.2 Statistika proizvodnje Modela A

Vrijeme simulacije	365 dana
Ukupan broj komada	25.212
Prosječno vrijeme izlaza	20 min 47 sek
Broj komada po satu	2,88
Broj komada po danu	69,07

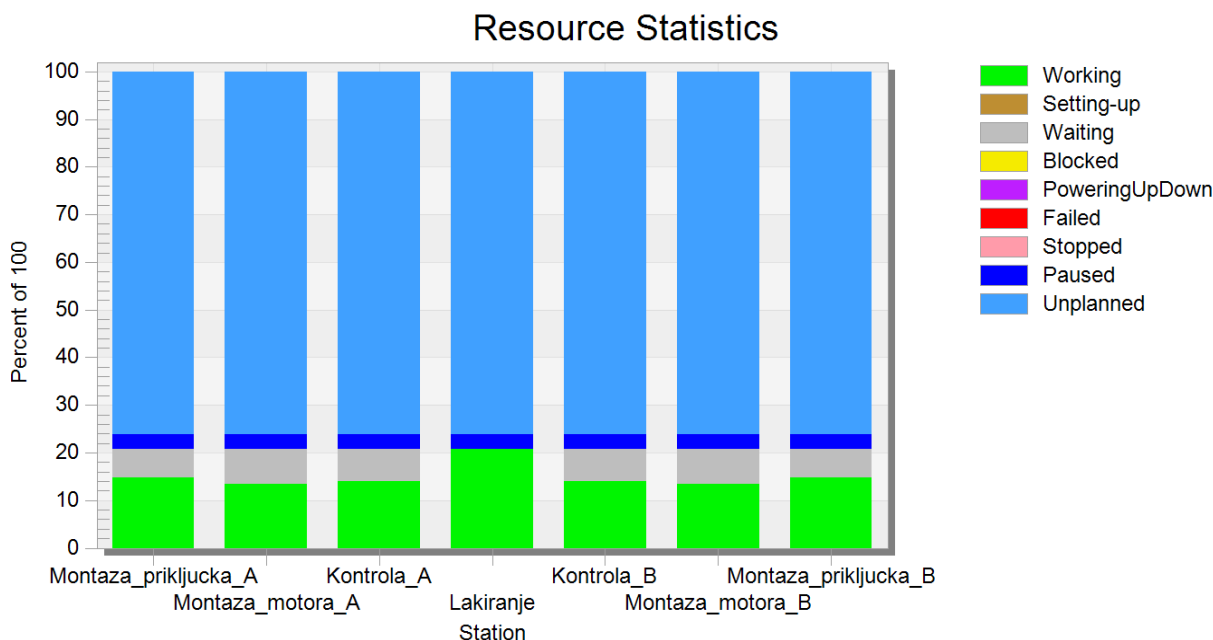
Iz tablice 6.2 se može vidjeti kako je uslijed prijedloga poboljšanja došlo do povećanja volumena proizvodnje za 38,33 %. Ako se pogleda statistika zauzetosti strojeva strojne obrade može se vidjeti da kapaciteti i dalje nisu popunjeni. Statistiku prikazuje slika 6.11.

**Slika 6.11 Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu – model A**

I ovdje su se kao kod analize postojećeg stanja uzeli strojevi, tj. radna mjesta koja se nalaze na kritičnom putu. Operacije kontrole i renderiranja nisu uzete u obzir zbog kratkog vremena trajanja. Sa slike 6.11 može se primijetiti kako se zauzetost odnosno iskoristivost strojeva povećala te bi u slučaju raspodjele proizvodnih serija tijekom godine serije išle češće nego u slučaju sadašnje proizvodnje. Ako se usporedi zauzetost stroja *Mori_Seiki* sa slike 6.7. i sa slike 6.10. može se vidjeti da je zauzetost porasla sa 38,91 % na 50,57 % ⁶ što je dokaz kako unatoč povećanju proizvodnog volumena postoji još mnogo mjesta za iskorištavanje strojeva.

⁶ Postoci su iščitani iz programa Tecnomatix u kojem je vršena simulacija.

Plan pri izradi modela A je bio rasteretiti radno mjesto s najdužom operacijom montaže te povećati iskoristivost radnog mjesta lakirnice. Slika 6.11 prikazuje statistiku odjela montaže, lakirnice i završnog ispitivanja.



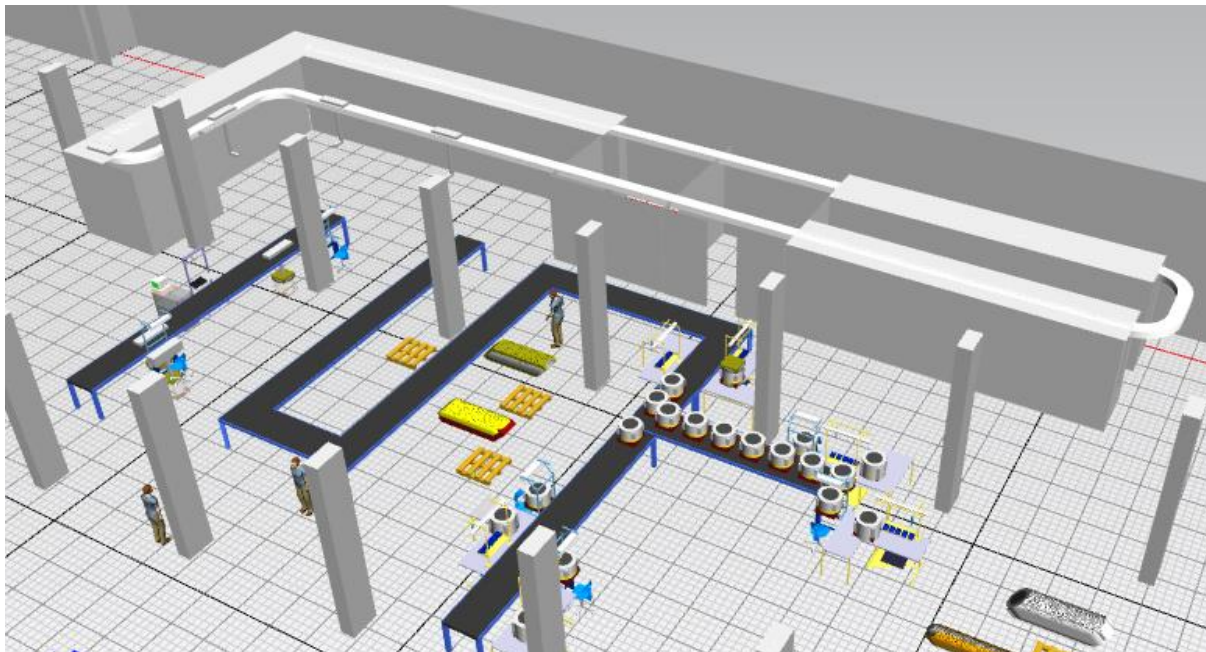
Slika 6.12 Statistika montaže, lakirnice i ispitivanja – Model A

Kao što je vidljivo sa slike 6.11 uvođenjem dodatne linije smanjila se zauzetost radnih mjesta sa operacijama prije lakiranja. Na taj način povećao se protok materijala i u krajnjem slučaju povećalo se volumen proizvodnje za 27,71 %. Radno mjesto lakiranja je zadnja točka u procesu i postiglo se upravo ono što je potrebno kako bi iskoristivost bila maksimalna.

Iako je poboljšanje od gotovo 30 % značajan napredak potrebno je razmotriti da li je takva investicija isplativa. Ovakvo poboljšanje zahtjeva *tri dodatna radna mjesta* koja zahtijevaju obuku radnika i opremanje radnog mjesta. Odluka o predloženom poboljšanju bit će prikazana u poglavlju višekriterijskog odlučivanja.

6.3. Drugi prijedlog poboljšanja postojeće proizvodnje

Nakon relativno jednostavnog prijedloga poboljšanja postojeće proizvodnje koji je prikazan s modelom A, napravljen je model koji predstavlja potpunu rekonstrukciju postojećih radnih mjesta montaža i pokretne linije za lakiranje. Novi raspored radnih mjesta te modificirana pokretna linija za lakiranje prikazana je pomoću *modela B* na slici 6.13.

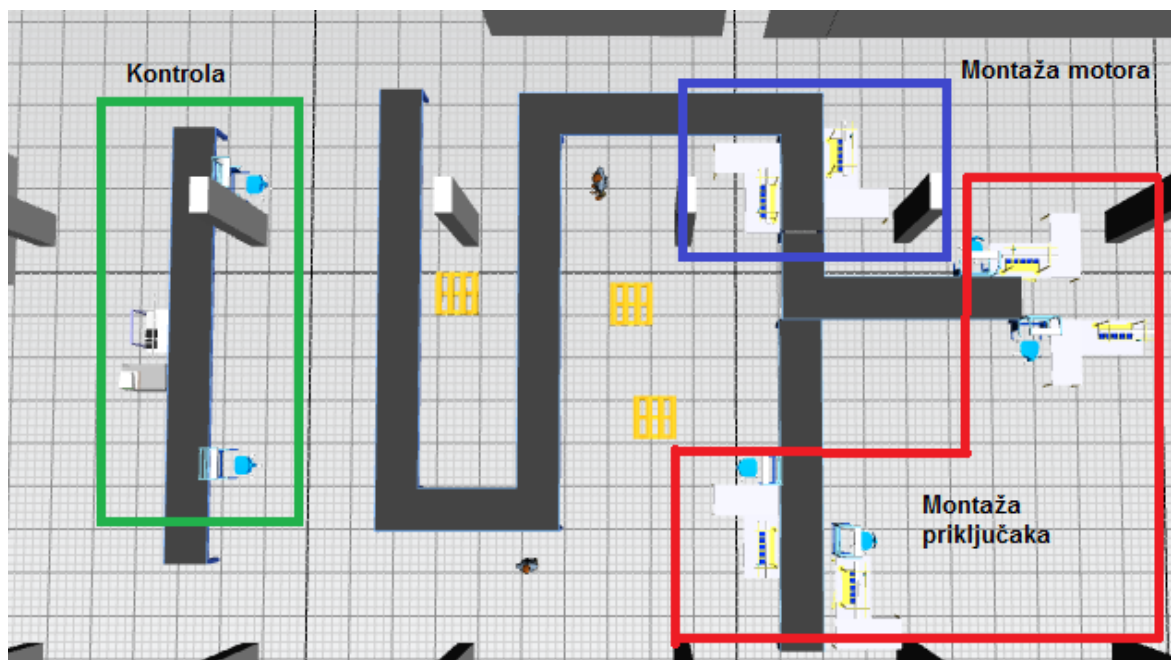


Slika 6.13 Model B

Model B prikazuje potpunu novu pokretnu liniju za montažu koja uključuje *četiri radna mjesta za montiranje priključaka* te *dva radna mjesta za montažu motora*. Povećanje broja radnih mjesta koja se nalaze na početku procesa montaže napravljeno je s ciljem kako bi se *povećao broj komada koji prolaze kritično mjesto procesa montaže* jer upravo ta operacija traje najdulje. S novom lakirnicom koja sadrži više peći za sušenje skraćen je proces lakiranja koji ujedno sadrži i vrijeme potrebno za sušenje lakiranog motora. Također, povećan je broj radnih mjesta kontrole kako bi se loši proizvodi mogli i popraviti u slučaju neispravnosti, a da to ne zaustavlja proizvodni tok. Važno je napomenuti da se vremena duljina operacija nisu mijenjala za radna mjesta osim za radno mjesto lakiranje. To je vrijeme iskustveno smanjeno za 50 % zbog nove lakirnice i novih peći za sušenje koje bi smanjile vrijeme sušenja elektromotora. Ovakav model zahtjeva mnogo ulaganja u opremu poput pokretnih traka, alata, dizalica, novih peći za sušenje, opreme za lakiranje i ostali dijelova te i u edukaciju novih radnika koji bi obavljali određene operacije. Edukacija zaposlenika je jako bitan faktor pri

podizanju efikasnosti radnog mjesta. Važno je definirati korake postupka kako bi radnik u svakom trenutku znao što mora obaviti i kako se pripremiti za sljedeći korak.

Na slici 6.14 je prikazan tlocrt rasporeda radnih mjesta montaže i kontrole.



Slika 6.14 Tlocrt rasporeda radnih mjesta Modela B

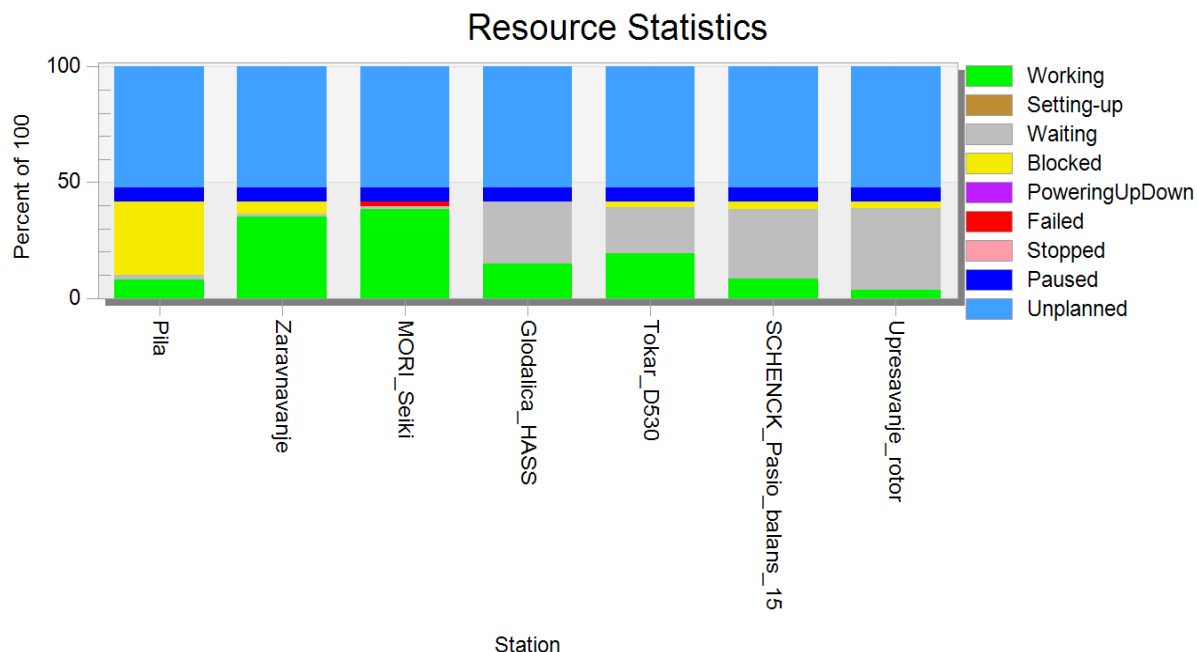
Novim rasporedom povećan je protok materijala što bi trebalo rezultirati i većom produktivnosti. Prilikom postavljanja parametara za model B vodilo se računa o kapacitetu odjela strojne obrade te je u skladu s tim ulaz u odnosu na model A povećan dvostruko te u ovom modelu iznosi 52.500 komada. Povećanjem ulaznih jedinica nastoji se povećati iskoristivost radnih mjesta u odjelu strojne obrade kako bi se zadovoljili kapaciteti novog odjela montaže, lakiranja i završnog ispitivanja. Ovim poboljšanjem se nastoji prikazati maksimalni kapacitet proizvodnje koji je uvjetovan mnogim elementima i ograničenjima. Kao i u prethodnim primjerima, simulacija je postavljena za vremenski period od 365 dana te su u tablici 6.3 prikazani rezultati.

Tablica 6.3 Statistika proizvodnje Modela B

Vrijeme simulacije	365 dana
Ukupan broj komada	51.328
Prosječno vrijeme izlaza	10 min 12 sek
Broj komada po satu	5,86
Broj komada po danu	140,62

Iz tablice 6.3 može se vidjeti da je ukupni broj proizvedenih komada u odnosu na prvi prijedlog poboljšanja proizvodnog procesa povećan za nešto malo više od sto posto što je jako veliko poboljšanje.

Prilikom analize zauzetosti strojeva gledana su samo radna mjesta koja se nalaze na kritičnom putu te je analiza vremena za ta radna mjesta prikazana na slici 6.15.

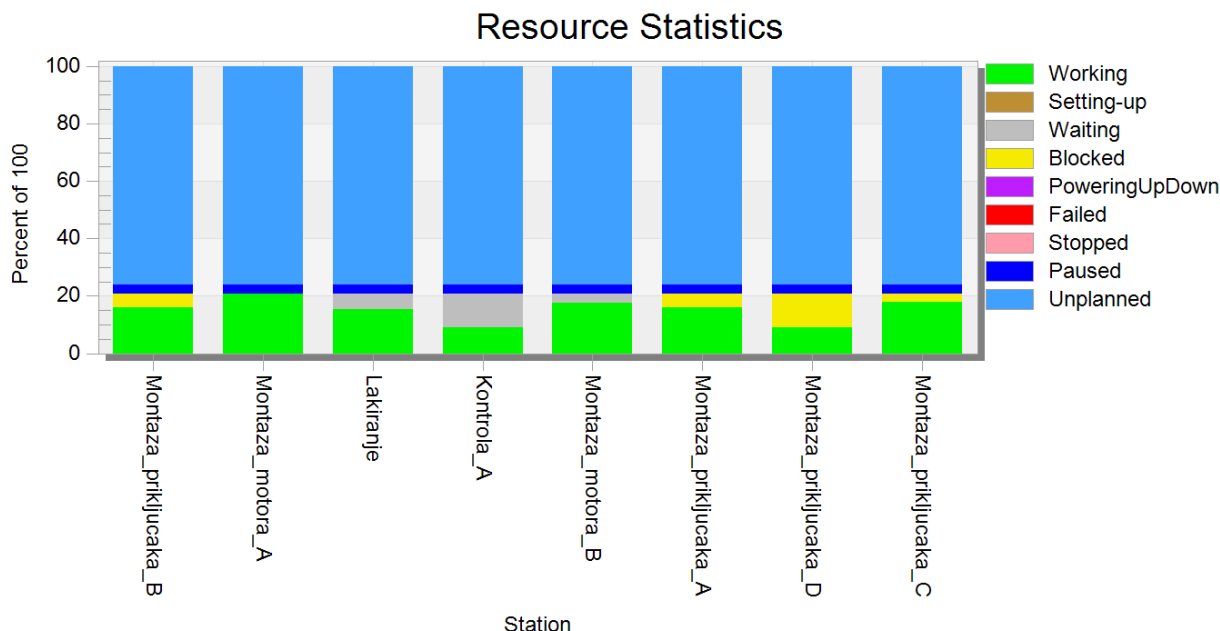


Slika 6.15 Statistika zauzetosti strojeva na kritičnom putu – Model B

Sa slike 6.15 vidljivo je kako je iskorišten stopostotni kapacitet kod radnog mjesta *MORI_Seiki* koji ujedno ima i najdulje vrijeme trajanja operacije. Kod nekih radnih strojeva se pojavljuje problem blokiranosti što predstavlja zastoj toka materijala. Do tog problema dolazi zbog nemogućnosti transporta obradaka s jednog stroja na drugi zbog prevelike intenzivnosti transportnih puteva. U pravilu operacije na tim radim mjestima traju kraće od operacija na sljedećem radnom mjesto te zbog toga dolazi do nagomilavanja obradaka koji čekaju obradu na drugom radnom mjestu. Takav slučaj se može riješiti balansiranjem proizvodnje što predstavlja vršenje operacija na radnom mjestu u vremenu neposredno prije potrebe sljedećeg radnog mjesta. Organiziranjem proizvodnje na taj način dobili bi se slobodni kapaciteti na tim radnim mjestima gdje se sada pojavljuju zastoji u tokovima materijala. Sa slike 6.15 je vidljivo da i dalje većina radnih mjesta ima neiskorištene kapacitete što je posljedica potpune zauzetosti radnog mjesta s najduljom operacijom (*MORI_Seiki*). Kada bi se operacija tokarenja koja se obavlja na *MORI_Seiki* paralelno

obavljala i na nekom drugom slobodnom radnom mjestu bilo bi moguće još više povećati broj ulaznih jedinica kako bi sva radna mjesta imala što veću iskoristivost.

Na slici 6.16 prikazana je statistika zauzetosti radnih mjesta na odjelu montaže, lakiranja i završnog ispitivanja.



Slika 6.16 Statistika montaže, lakirnice i ispitivanja – Model B

Kod modela B postoji *više radnih mjesta gdje se obavljaju iste operacije*, a odabir radnog mjesta gdje će se obaviti operacija je postavljen na način da se operacija obavlja na radnom mjestu koje je u tom trenutku slobodno. Zbog toga dolazi do nejednolike raspodjele zauzetosti radnih mjesta koja obavljaju istu operaciju. U prethodnom modelu (model A) bilo je prikazano kako je radno mjesto lakiranje iskorišteno gotovo 100 % te je zbog toga u ovom modelu predložena nova lakirница i peći za sušenje koje bi smanjile tehnološko vrijeme tih operacija. Sa slike 6.16 je vidljivo kako kod lakiranja postoji slobodni kapacitet koji je posljedica upravo tog poboljšanja.

Iako kod ovog modela postoji još mnogo mjesta za napredak kako bi se iskoristivost radnih mjesta podignula na još viši nivo te kako bi se izbjegli zastoji u tokovima materijala, može se vidjeti da predložena poboljšanja donose oko 100 % veći broj proizvoda u odnosu na prvi prijedlog poboljšanja te oko 282 % veći broj proizvoda u odnosu na sadašnje stanje proizvodnje. Iako takvu statistiku treba uzeti s malom dozom opreza zbog nepredviđenih situacija koje se mogu javiti u stvarnoj proizvodnji, vidljivo je da je velik napredak u odnosu na sadašnje stanje.

7. PROBLEM VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA[11]

Donošenje odluke je problem koji se javlja u gotovo svakoj djelatnosti. Problem odlučivanja se svodi na proces odabira jedne ili više alternativa koje su poznate donositelju odluke u svrhu poboljšanja procesa, tj. postizanja cilja. Važno je da je donositelj odluke upoznat sa svim ograničenjima koje proces postizanja cilja postavlja te da na osnovu tih kriterija donese ispravnu odluku. Kriteriji su najčešće konfliktni što predstavlja dodatno ograničenje prilikom objektivnog razmatranja cijelog problema. Rezultat procesa donošenja odluke je rješenje koje je u tom trenutku i u zadanim uvjetima najbolje što alternative pružaju. Ponekad je odluku lako donijeti ako postoji mali broj kriterija koji pri tome nisu konfliktni. No, najčešće u složenim organizacijama i sustavima donošenje odluke je kompleksan proces. Za jednostavnije i brže rješavanje problema potrebno je da donositelj odluke dobro poznaje procese, aktivnosti te kriterije na osnovu kojih se i donosi odluka. Kako uspjeh cijelog sustava ovisi o konačno donesenoj odluci, tako se razvijaju i metode koje bi pospješile proces odlučivanja.

Podrška višekriterijskog odlučivanja (eng. *Multiple-criteria decision aid - MCDA*) je znanstveno područje koje se bavi razvijanjem metodologije i metoda kojima se donositeljima odluke pomaže pri odlučivanju u kompleksnim situacijama koje podrazumijevaju postojanje više konfliktnih ciljeva, odnosno kriterija [12]. Prije raširene upotrebe računala, MCDA metodom su se koristili analitičari koji su pomagali u procesu donošenja odluke. Razvojem računala stvara se mogućnost programske potpore odlučivanja i demokratizira se primjena metoda MDCA. Razvijaju se sustavi za potporu pri odlučivanju (eng. *Decision Support System – DSS*) u kojima su implementirane metode višekriterijske analize.

Analitičar ili DSS sustav daje donositelju odluke mogućnost za odabir rješenja uz pomoć odgovarajućeg algoritma ili metode, a na temelju informacija danih od strane donositelja odluke. Nakon što se prikupe svi relevantni podaci od donositelja odluke, sustav daje prijedlog rješenja. Međutim, nužno je donositelju odluke prepustiti konačni odabir, odnosno dati mu mogućnost intervencije.

Kako opća podjela metoda višekriterijskog odlučivanja ne postoji, metode se dijele prema određenim kriterijima. Tako postoje podjele prema načinu uključivanja donositelja odluke u

proces odlučivanja, prema klasama problema koji se rješavaju pomoću tih metoda, prema postupku rješavanja i ostalim sličnim kriterijima.[13]

Obzirom na trenutak u kojem donositelj odluke može intervenirati postoje tri kategorije metoda[12]:

- *a priori metode* – donositelj odluke intervenira prije samog procesa na način da osigurana neke potrebne podatke, kao što su na primjer, težine kriterija.
- *a posteriori metode* – metode koje omogućavaju donositelju odluke da iz skupa zadovoljavajućih rješenja odabere ono koje njemu najbolje odgovara.
- *interaktivne metode* - to su metode koje omogućavaju donositelju odluke da posreduje tijekom pronalaženja rješenja. U njima je proces iterativan. Svaka iteracija osigurava donositelju odluke neko rješenje koje ne mora nužno biti i najbolje. Tada donositelj odluke daje potrebnim parametrima neke nove vrijednosti i tako usmjerava proces dalje.

Razvijanje metoda i sustava za podršku pri višekriterijskom odlučivanju je nužno jer se na taj način optimizira cijeli proces i sustav. Pri analizi kriterija i alternativa i rangiranju njihove važnosti primjenjuju se razni modeli koji pomažu pri rješavanju nekog problema. Dinamična okolina i timski rad pospješuju svaki proces dajući mu objektivnost i više ideja iz kojih se može pronaći najbolje rješenje. Ponekad je teško sagledati i razmotriti cijeli problem objektivno te se u takvim slučajevima primjenjuju metode koje ubrzavaju i daju najbolje moguće rješenje u tome trenutku.

7.1. Sustavi za potporu pri odlučivanju - DSS

Sustav za potporu pri odlučivanju je informacijski sustav podržan računalom koji se koristi kao pomoć pri odlučivanju na bilo kojoj razini upravljanja s naglaskom na odlučivanju kod slabo strukturiranih i nestrukturiranih⁷ zadataka. DSS služi za organiziranje informacija, identifikaciju i dohvat informacija, analizu i transformaciju informacija, izbor modela odlučivanja i analizu dobivenih rezultata. Sadrži baze podataka pomoću kojih se lakše dolazi do informacija potrebnih donositelju odluke kako bi donio pravilan izbor. DSS je interaktivni sustav namijenjen da korisniku pripremi potrebne informacije iz kombinacije sirovih podataka koje sadrži u bazi, dokumenata i osobnih znanja ili poslovnih modela, za identificiranje i

⁷ Nestrukturirani zadaci – donošenje odluka gdje kriteriji nisu jasno definirani ili se razlikuju po formi (kvantitativni i kvalitativni podaci)

rješavanje problema i donošenja odluka [15]. Takav sustav omogućava planiranje i kontrolu provođenja procesa, te fleksibilnost u odlučivanju i implementaciji odluka. Raspon implementacije sustava je od procesa s najjednostavnijim problemima do složenih sustava s kompleksnim problemima.

Iako je uvijek postojala potreba za pomoć pri donošenju odluka u svim područjima različitih djelatnosti, mogućnost za razvijanje ovakvih sustava paralelno se javila razvijanjem računalnih sustava i opreme [15]. Sustavi su se razvijali kako bi omogućili i olakšali samostalno donošenje što objektivnijih odluka, dinamičniji rad u timovima te bolju organizaciju hijerarhije poduzeća zbog sustava koji pomaže kod donošenju vrlo važnih i što je moguće racionalnijih odluka.

Uz sustave za potporu pri odlučivanju, mnogo je alata koji pospješuju proces donošenja odluke. Timski rad je bitan dio svakog procesa jer se time nastoji osigurati objektivnost odluke. Alati koji se koriste kako bi pospješili proces donošenja odluke temelje se na timskom radu i vizualizaciji problema. Primjer takvih metoda je SWOT⁸ analiza, stablo odlučivanja, KANBAN⁹, prikaz podataka grafovima, dijagram tijeka događaja i mnoge druge. Svi se ti alati razvijaju kao potreba za donošenje objektivne odluke i usmjeravanje sustava prema uspješnom djelovanju. Svaki problem utječe na niz područja, stoga je važno je da se timovi sastoje od eksperata različitih znanja i iskustava kako bi se problem sagledao objektivno i kako bi odluka bila optimalna koliko to ograničenja dopuštaju.

Sustavi za potporu pri odlučivanju temelje se na znanstvenim metodama pa tako pored savjetnika, eksperata u timovima i svih drugih utjecajnih parametara, nastoje donositi odluke temeljem kvantitativnih kriterija i procjena. Jako je teško očekivati autonomne sustave koji će donositi kompleksne odluke bez utjecaja čovjeka i njegove procjene jer pored kvantitativnih kriterija, u realnoj okolini uvijek postoje kvalitativni kriteriji koje je potrebno interpretirati na način koji je za sada poznat samo čovjeku.

⁸ SWOT analiza (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) – metoda analize situacije i položaja sustava

⁹ KANBAN – sistematiziran raspored odvijanja akcija

8. AHP METODA[11]

AHP metodu je razvio Thomas Saaty sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, a temelji se na matematici i psihologiji te time čini snažnu podršku pri odlučivanju. [16]

Analitički hijerarhijski proces (eng. *Analytic hierarchy process – AHP*) je metoda za odlučivanje koja se koristi kada je potrebno donijeti odluku između nekoliko alternativa koje se temelje na više atributa drugačije važnosti, a izražavaju se pomoću različitih skala. AHP metoda pomaže pri donošenju odluka na temelju kvantitativnih i kvalitativnih čimbenika. AHP metoda je najpopularnija i najčešće korištena metoda procesa odlučivanja kod rješavanja realnih problema te je tako našla svoju primjenu u inženjerstvu, industriji, politici, području obrane, marketingu te mnogim drugim područjima ljudskog djelovanja. Pomaže kod donošenja odluke kod kompleksnih problema čije elemente čine ciljevi, kriteriji, podkriteriji i alternative.[16]

AHP metoda je snažan alat koji se koristi kod problema koji zahtjeva objektivnu prosudbu pri donošenju odluke pri čemu na temelju matematičke podloge daje rezultat. Dobiveni rezultat predstavlja znanstveni pristup rješavanju problema odabira. Zbog opsežnosti i točnosti samog procesa odabira, potrebno je provesti istraživanje koje uključuje odabir i analizu kriterija, ujedno i najznačajniji dio hijerarhijskog modela pri odabiru alternative. Kvalitetna obrada atributa kriterija je potrebna zbog kasnijeg ponderiranja kriterija prema važnosti za postizanje cilja.

AHP metoda se zasniva na četiri aksioma [16]:

1. *Aksiom recipročnosti* - ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B $1/n$ puta značajniji od elementa A.
2. *Aksiom homogenosti* - usporedba ima smisla jedino ako su elementi usporedivi - npr. ne može se uspoređivati težina komarca i težina slona.
3. *Aksiom zavisnosti* - dozvoljava se usporedba među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, tj. usporedbe na nižem nivou zavise od elementa višeg nivoa.
4. *Aksiom očekivanja* - svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtjeva ponovno računanje prioriteta u novoj hijerarhiji.

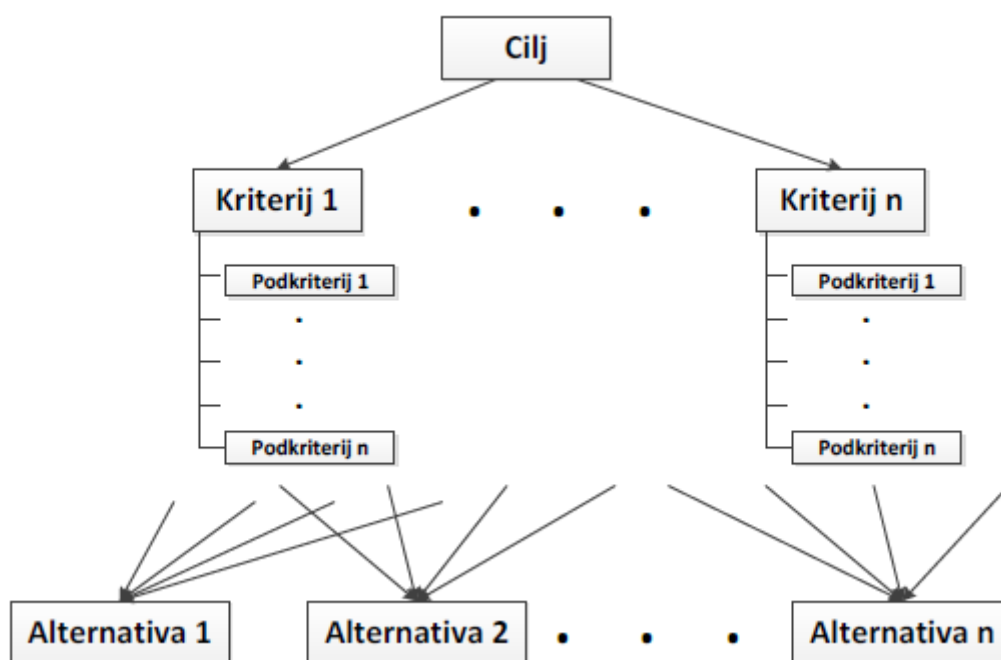
AHP metoda sastoji se od sljedećih faza [17]:

- Strukturiranje problema
- Određivanje najznačajnijeg kriterija
- Određivanje najznačajnije alternative
- Određivanje konačnog rješenja

8.1. Strukturiranje problema

U prvoj fazi razvija se hijerarhijski model problema odlučivanja za sljedeće razine [17]:

- Cilj
- Kriteriji
- Podkriteriji
- Alternative



Slika 8.1 Strukturiranje problema AHP metode[18]

Tako strukturiran model predstavlja temelj procesa donošenja odluke. Jasno je razinama prikazana zavisnost cilja procesa o kriterijima i podkriterijima koji čine najbitniji dio cijele strukture. Definiranjem cilja, određivanjem kriterija i podkriterija te izabiranjem alternativa postaje jasnija slika kompleksnosti problema i važnosti upotrebe znanstvene metode pri

rješavanju problema odabira. Strukturiranjem problema završen je prvi korak donošenja odluke pomoću AHP metode.

8.2. Određivanje najznačajnijeg kriterija i alternative

Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi te strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć Saatyve skale relativne važnosti[17].

Skala ima 5 stupnjeva i 4 međustupnja verbalno opisanih intenziteta i odgovarajuće numeričke vrijednosti u rasponu od 1-9 što prikazuje Slika 8.2.

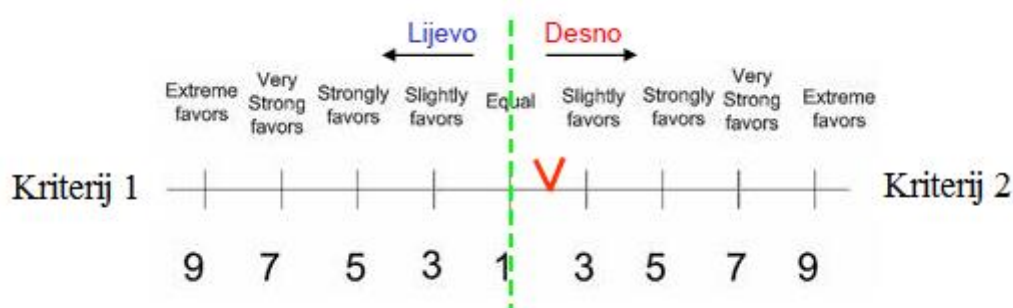
Kriteriji mogu biti kvantitativni ili kvalitativni. Kvalitativne kriterije je moguće vrednovati samo na temelju iskustva i prethodnog znanja što daje dozu subjektivnosti procesa odlučivanja. Na taj način izravno se utječe i na rezultat odlučivanja. Prije samog procesa, potrebna je detaljna analiza svakog elementa hijerarhijske strukture kako bi se donijela pravilna odluka tijekom svake faze rješavanja problema. Detaljna analiza kriterija i alternativa je potrebna jer se na temelju tih podataka ti elementi uspoređuju. Nedovoljnim poznavanjem važnosti određenog kriterija ili manjak podataka o alternativni može dovesti do rezultata koji nije objektivno najpovoljniji i najbolji izbor.

Kvantitativne kriterije je lako usporediti zbog njihove prirode pa proces odlučivanja postaje objektivniji, a utjecaj donositelja odluke je eliminiran do jedne mjere jer ipak ostaje doza subjektivnosti prilikom ponderiranja kriterija i alternativa. Kvalitativne kriterije je teže uspoređivati i vrednovati te pri tome ostati objektivan zbog subjektivnog dojma donositelja odluke. Neki primjeri kvalitativnih kriterija su dizajn, pouzdanost, fleksibilnost dok su kvantitativni kriteriji potrošnja energije, broj komada, vrijeme, rok isporuke, pouzdanost, troškovi, cijena i sl.

Ocjena prioriteta	Opisna ocjena prioriteta	
1	Jednaki prioritet	Equal
2	Jednaki do umjereni prioritet	Intermediate favors
3	Umjereni prioritet	Slightly favors
4	Umjereni do jaki prioritet	Intermediate favors
5	Jaki prioritet	Strongly favors
6	Jaki do vrlo jaki prioritet	Intermediate favors
7	Vrlo jaki prioritet	Very strong favors
8	Vrlo jaki do apsolutni prioritet	Intermediate favors
9	Apsolutni prioritet	Extreme favors

Slika 8.2 Prikaz Saatyjeve skale [17]

Kriteriji se međusobno uspoređuju i ocjenjuju pomoću Saatyjeve skale. (Slika 8.3.)



Slika 8.3 Prikaz usporedbe kriterija [17]

Proces uspoređivanja se izvodi pomoću brojčane skale pri čemu veći broj daje veću vrijednost kriterija ili alternative. (Slika 8.3)

Rezultati uspoređivanja elemenata na nekoj od razina hijerarhije smještaju se u određene matrice usporedbe. Npr., ako se međusobno usporedi n elemenata u odnosu na odgovarajući element na neposredno višem nivou hijerarhije, tada se pri usporedbi elementa i u odnosu na element j putem Saatyjeve skale određuje numerički koeficijent a_{ij} i smješta na odgovarajuću poziciju u matrici A (Slika 8.4). [19]

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Slika 8.4 Matrica A [19]

Recipročna vrijednost rezultata uspoređivanja se smješta na poziciju a_{ji} da bi se sačuvala konzistentnost usporedbe. Npr., ako je element 1 neznatno favoriziran u odnosu na element 2, na mjestu a_{12} matrice A bio bi broj 5, a na mjestu a_{21} recipročna vrijednost 1/5.

Smisao matrice usporedbe najbolje se može razumjeti iz sljedećeg. U "savršenom svijetu" što je identično konzistentnom vrednovanju, matrica A, u koju se smještaju rezultati uspoređivanja bila bi ista kao matrica X (Slika 8.5). [19]

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Slika 8.5 Matrica X [19]

gdje w_i predstavlja relativni težinski koeficijent elementa i .

U sljedećem koraku, definirana matrica usporedbe množi se sama sa sobom te nakon množenja matrica dobiva se nova matrica tzv.. **1. iteracije** iz koje se određuje **1. vektor prioriteta**.

Nadalje **1. vektor** prioriteta određuje se tako da se sumira redove nove matrice, te normalizacijom sume redova dobiva se vektor prioriteta. Normalizacija se provodi da bi podaci bili uniformni i usporedivi.

Sljedeći korak je 2. iteracija tj. **nova matrica** koja se dobiva množenjem 1. iteracije same sa sobom, te iz nje se dobije **2. vektor prioriteta** sumiranjem i normalizacijom redova novonastale matrice.

Kada postoje dva vektora prioriteta izračunava se vektor razlike, te ako je njegov iznos zanemariv određuje se najznačajniji kriterij ili alternativa. a Ako je iznos vektora razlike značajan, računa se nova iteraciju i novi vektor prioriteta te se ponovo traži vektor razlike. Ako u nekoliko sljedećih iteracija, iznos vektora razlike nije zanemariv postupak nije konzistentan¹⁰.

8.3. Određivanje konačnog rješenja

Nakon što je određen *vektor prioriteta alternativa* i *vektor prioriteta kriterija*, ta dva vektora se množe i dobiva se **vektor prioriteta cilja**. Iz vektora prioriteta cilja s obzirom na razmatrane kriterije i alternative dobiva se **rješenje složenog problema**. **Najbolja alternativa** uz postavljene uvjete je ona koja je poprimila **najveću vrijednost u vektoru prioriteta cilja**.

8.4. Procjena konzistentnosti odlučivanja

AHP spada u popularne metode zato što ima sposobnost analiziranja i identificiranja nekonzistentnosti donositelja odluke u procesu uspoređivanja i vrednovanja elemenata hijerarhije. Čovjek je rijetko konzistentan pri procjenjivanju vrijednosti ili kvalitativnih značajki elemenata u hijerarhiji. AHP na određen način ublažava taj problem tako što **računa omjer konzistencije** i o tome obavještava donositelja odluke.

Kada bi postojala mogućnost da se precizno odrede vrijednosti težinskih koeficijenata svih elemenata koji se međusobno uspoređuju na nekom od nivoa hijerarhije, svojstvene vrijednosti matrice bile bi potpuno konzistentne. Međutim ako npr. svojstvo A je važnije od

¹⁰ Konzistentnost – predstavlja dosljednost donosioca odluke prilikom ponderiranja kriterija i alternativa (ako je A veće od B, a B veće od C, A ne može biti manje od C)

B, a svojstvo B važnije od C, onda svojstvo A mora biti važnije od C, jer je inače nekonzistentnost u rješavanju problema i smanjuje se pouzdanost rezultata.

Da bi se procijenila konzistentnost odlučivanja potrebno je izračunati *mjeru konzistencije* tj. indeks konzistencije *CI*, a računa se prema sljedećem izrazu:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

gdje je: λ_{max} – najveća svojstvena vrijednost

n – broj kriterija

Slučajni indeks konzistentnosti *RI* ovisi o redu matrice, a dobiven je tako što je prof. Saaty za svaku matricu veličine n generirao nasumične matrice te izračunao njihovu srednju vrijednost *CI* i nazvao je *slučajni indeks konzistencije RI* (Slika 8.6.).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Slika 8.6 Slučajni indeks konzistencije RI [19]

Omjer konzistencije *CR* je omjer indeksa *CI* i indeksa *RI*

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

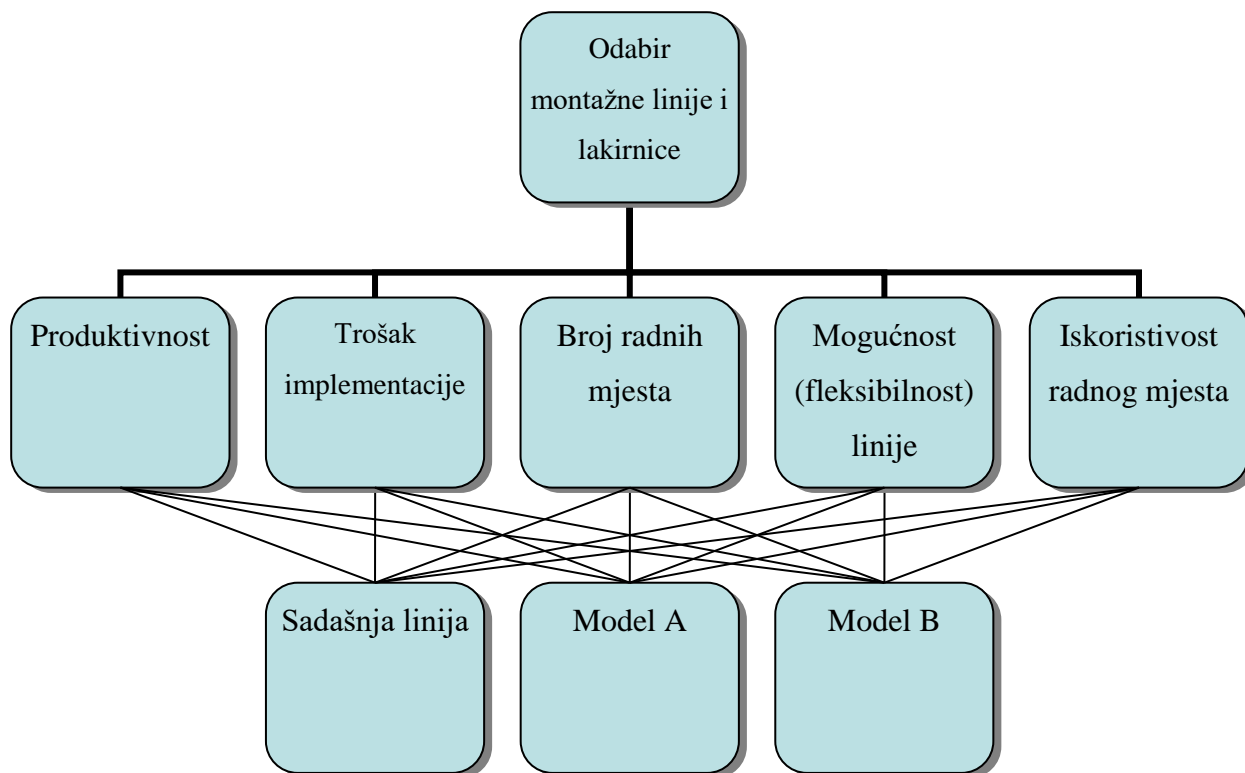
Ako je stupanj konzistentnosti *CR* manji od 0,10, rezultat se smatra dovoljno točan i nema potrebe korigirati usporedbe i ponavljati proračun. Ako je *stupanj konzistentnosti CR veći od 0,10*, rezultat bi trebalo ponovo analizirati i ustanoviti razloge nekonzistentnosti, ukloniti ih, te ako se nakon ponavljanja postupka u nekoliko koraka, stupanj konzistentnosti *CR* ne smanji ispod granice od 0,10, *sve rezultate treba odbaciti i ponoviti cijeli postupak ispočetka*. [19]

9. PRIMJENA AHP METODE

U obrađenom primjeru problem višekriterijskog odlučivanja se javlja kod *izbora proširenja ili zadržavanja postojeće montažne linije i lakirnice*. Važnost ovakve odluke je u tome što se na osnovu više kriterija koji su podjednako važni donosi odluka koja ima dugoročnu posljedicu na cijeli sustav. Iako se ponekad čini kako je neko rješenje jedina ispravna odluka, uključujući ostale bitne kriterije, moguće je dobiti i drugačije rezultate. Kod izbora najbolje alternative za određeni problem najvažnije je uzeti u obzir objektivno važne kriterije kako bi konačni odabir imao minimalno nedostataka. Promatranje sustava i prikupljanje informacija je jedan od bitnijih koraka kako bi se uočili svi kriteriji te prikupili i obradili svi podaci koji su važni pri odabiru rješenja. Kod odabira rješenja montažne linije i lakirnice unutar pogona uzeti su sljedeći kriteriji:

- *Produktivnost* – broj obrađenih komada unutar nekog vremenskog razdoblja. Jedan od najvažnijih kriterija koji je i ujedno i glavni cilj svakog sustava, ali može biti u koliziji s ostalim kriterijima uspješnosti sustava.
- *Troškovi implementacije* – uložena sredstva u opremu i mehanizaciju koja je nužna za proširenje postojeće linije ili implementiranje potpuno nove linije i lakirnice. Predstavlja troškove za kupovinu i implementaciju konvejera, dizalica, novih sušionica i peći, nove lakirnice itd.
- *Mogućnost (fleksibilnost) linije* – predstavlja mogućnost obrade različitih proizvoda u isto vrijeme. Time se povećava fleksibilnost cijelog proizvodnog sustava jer se omogućava isporuka različitog tipa proizvoda u isto vrijeme te lakše balansiranje proizvodnog sustava.
- *Iskoristivost radnog mjesta* – predstavlja omjer vremena utrošenog na pripremu za rad i rad koji donosi vrijednost te ukupnog raspoloživog vremena. Nastoji se smanjiti sve aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu, tj. maksimizirati vrijeme koje radnik provodi na svom radnom mjestu obavljajući primarni zadatak.
- *Broj radnih mjesta* – proširenje proizvodnog pogona, u ovom slučaju montažne linije i lakirnice zahtjeva zapošljavanje novih radnika, a zapošljavanje podrazumijeva dodatnu edukaciju, ali i trošak. Ponekad je potrebno vrijeme da se radnici naviknu na novi sustav i način rada što utječe na fleksibilnost i efikasnost sustava.

Nakon što je određen cilj izbora, kriteriji i alternative, potrebno je napraviti model pomoću kojeg će se izvršiti proces odabira. Stablo odlučivanja je odličan način za prikazivanje ovisnosti cilja, kriterija te alternativa, a za ovaj slučaj prikazano je na slici 9.1.



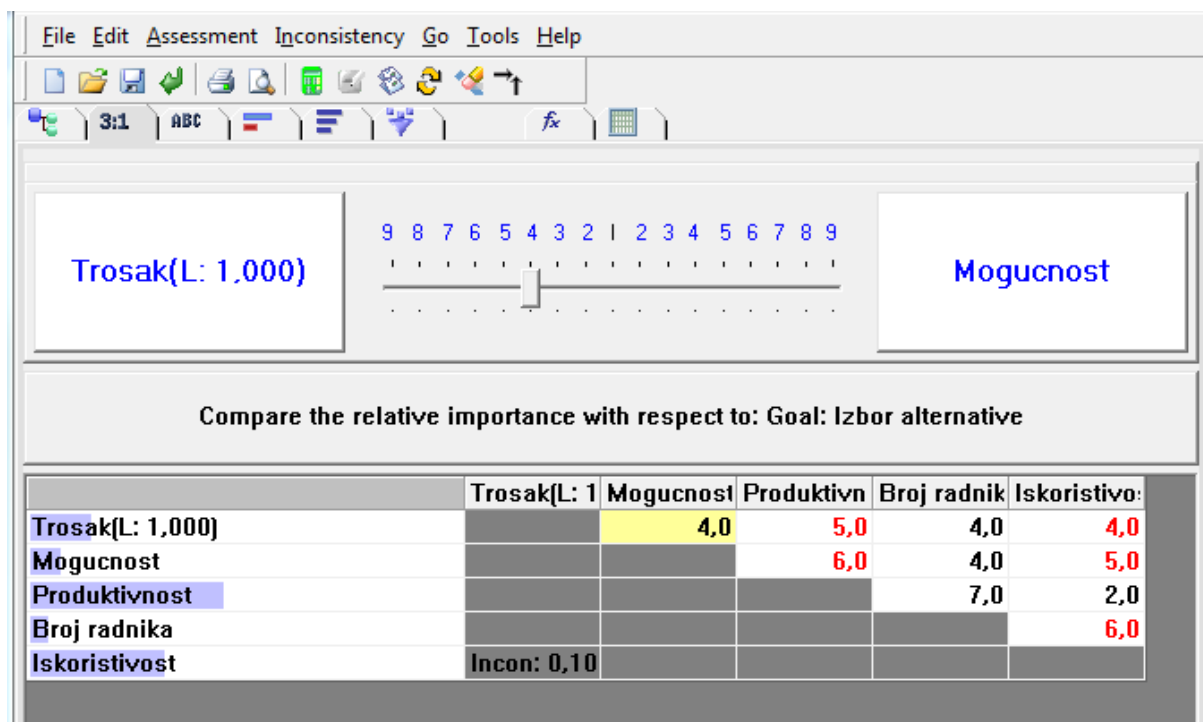
Slika 9.1 Stablo odlučivanja

Kriterije je potrebno ponderirati prema težini, tj. odrediti njihovu važnost za proizvodni sustav. Iako bi se možda činilo da je produktivnost jedini kriteriji koji određuje uspješnost proizvodnog sustava, važno je odrediti koji je cilj cijelog sustava te pri izboru alternative uključiti i ostale kriterije jer važno je da je sustav uz to što ima visoku produktivnost i fleksibilan te da implementacija poboljšanja ne predstavlja prevelike troškove. Također, bitno je voditi i brigu o iskoristivosti i broju radnika.

Prikaz kriterija prema važnosti od najvažnijeg do najmanje važnog:

- Produktivnost,
- Iskoristivost radnog mjesta,
- Trošak implementacije,
- Mogućnost (fleksibilnost) linije,
- Broj radnih mjesta.

Proces odlučivanja AHP metodom podržan je programskom podrškom u obliku softvera Expert Choice-a koji omogućava razne prikaze rezultata u obliku dijagrama i statistike. Sam proces ponderiranja kriterija i alternativa prema kriterijima je olakšan na način međusobnog uspoređivanja što je prikazano na slici 9.2.



Slika 9.2 Uspoređivanje kriterija u programu Expert Choice

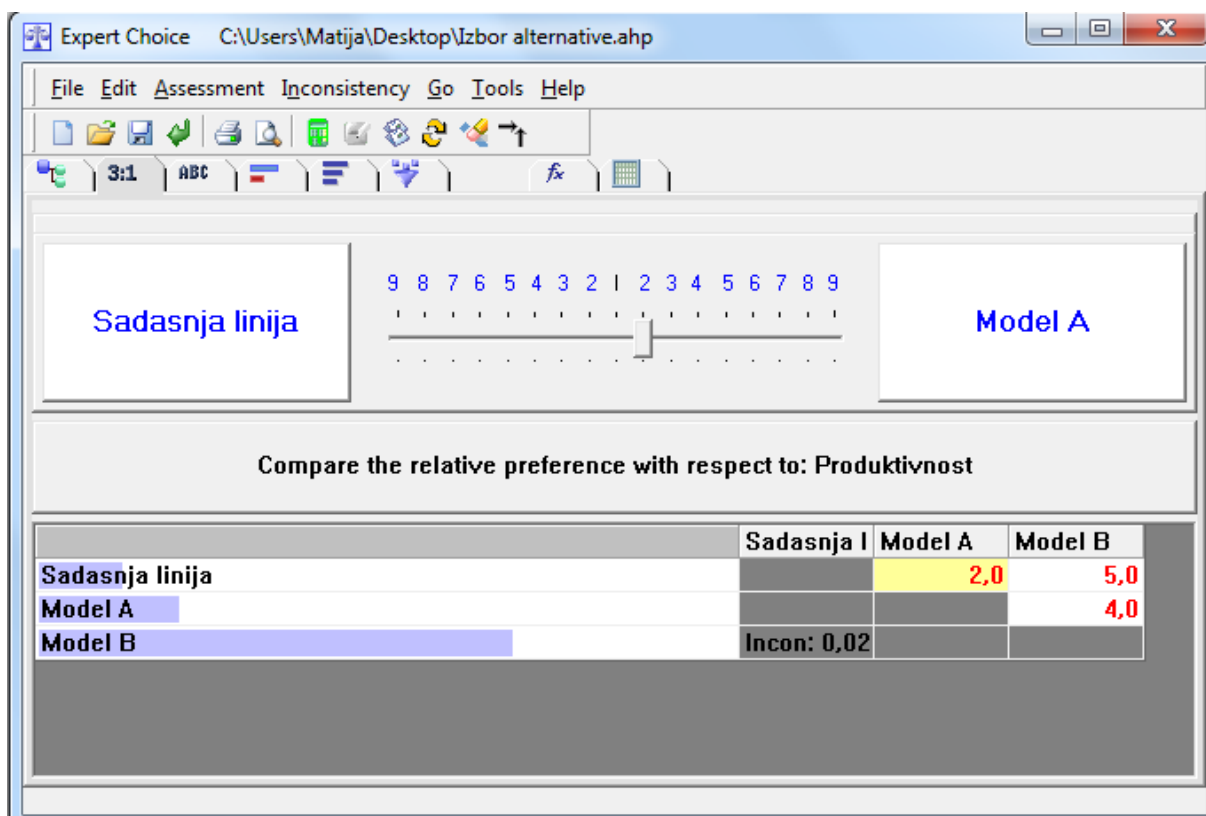
Korištenjem programa skraćeno je vrijeme vrednovanja i uspoređivanja kriterija te olakšan je cijeli proces donošenja odluke. Slika 9.2 prikazuje uspoređivanje kriterija i dodjeljivanja koeficijenta jačine pojedinom kriteriju u odnosu na drugi kriteriji. Pri vrednovanju je važno paziti na konzistentnost kako bi konačni rezultat bio ispravan. Prikaz rangiranja kriterija prema važnosti prikazan je na slici 9.3.



Slika 9.3 Prikaz rangiranih kriterija

Na slici 9.3 je vidljivo kako je koeficijent konzistentnosti jednak 0,10 što znači da je proces rangiranja dobro proveden te da je moguće provesti sljedeći korak, a to je rangiranje alternativa prema pojedinom kriteriju.

Nakon što su uneseni svi kriteriji i ponderirani prema Saatyjevoj skali, potrebno je rangirati i alternative prema pojedinim kriterijima. Prema prikupljenim podacima o svakoj alternativu donosi se zaključak o odnosu između dvije alternative i to se definira prema Saatyjevoj skali. Postupak je prikazan na slici 9.4.

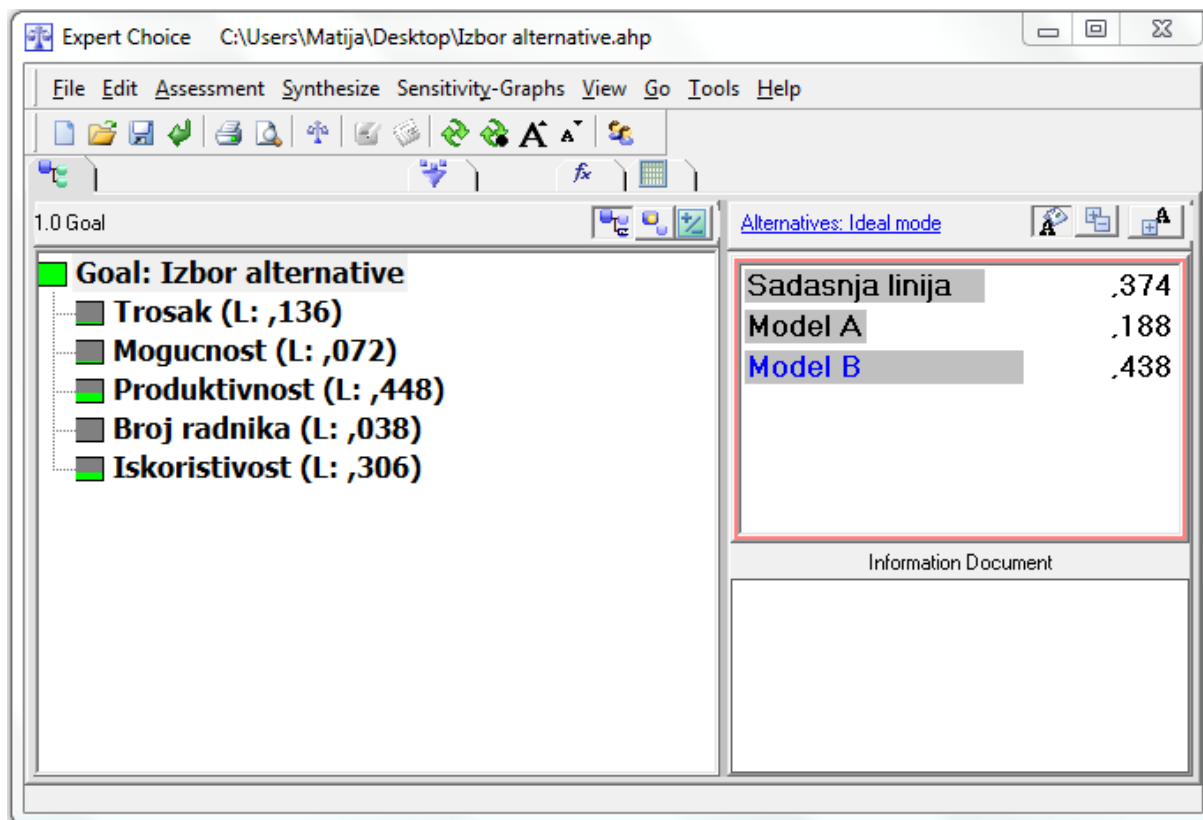


Slika 9.4 Uspoređivanje alternativa prema kriterijima

U ovom primjeru ne postoji velik broj alternativa pa je proces uspoređivanja dodatno olakšan. Potrebno je usporediti alternative na svim razinama, tj. prema svakom kriteriju. Prema unesenim veličinama Expert Choice automatski obavlja računski dio procesa i prikazuje rezultate. U slučajevima gdje je kriterije moguće prikazati kvantitativno puno je lakše obaviti proces uspoređivanja nego kad su kriteriji opisnog karaktera. Zato se nastoji uvrstiti što više kvantitativnih kriterija kako bi se eliminirala subjektivnost iz samog procesa odlučivanja. Na slici 9.4 vidljivo da je koeficijent konzistentnosti jako mali jer je bilo jednostavno provesti proces zbog malog broja alternativa. Kada je riječ o velikom broju kriterija ili alternativa

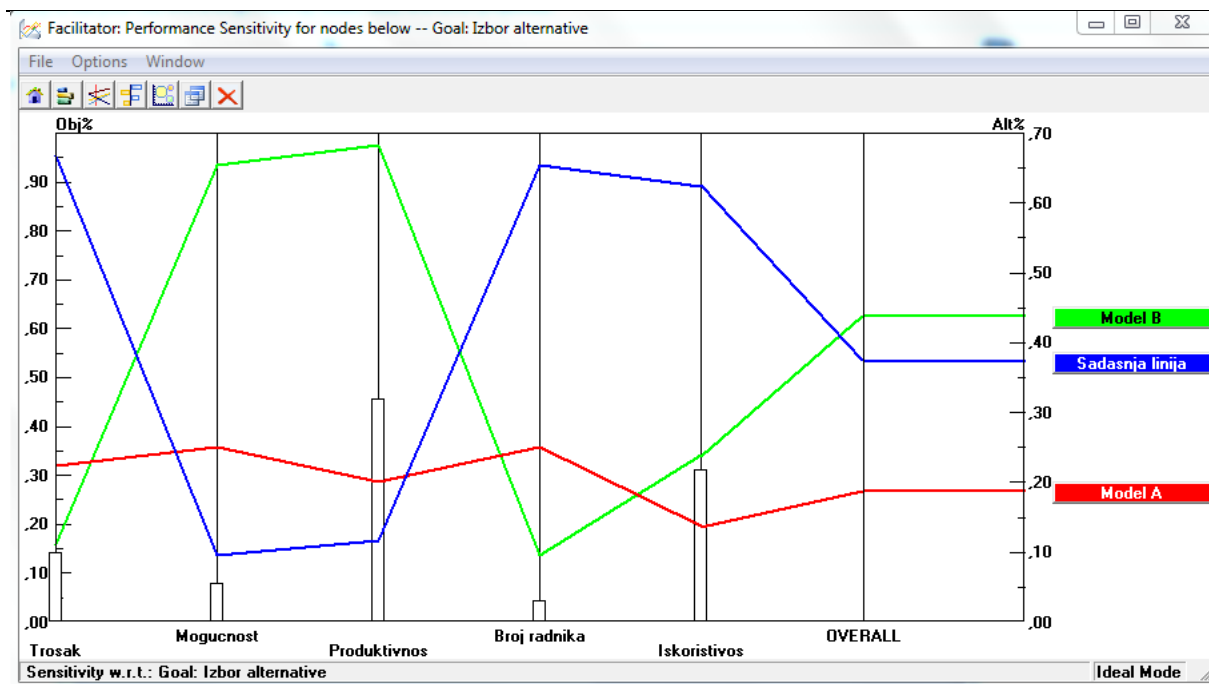
mora se obratiti pozornost na to kako bi cijelo vrijeme pri donošenju odluke bili konzistentni, tj. neproturječni.

Na slici 9.5 su prikazani rezultati nakon uspoređivanja kriterija i alternativa prema pojedinim kriterijima.



Slika 9.5 Konačni rezultati procesa višekriterijskog odlučivanja

Prema slici 9.5 su vidljivi koeficijenti pojedinih kriterija, ali i alternativa, tj. poredak kriterija prema važnosti, ali i poredak alternativa kao rezultat višekriterijskog odlučivanja prema parametrima koji su uneseni. Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti kako je *implementacija nove linije najbolje rješenje iako nema prednost prema svim kriterijima*. Takav rezultat je moguć zbog različite važnosti kriterija gdje neki kriterij ima jači utjecaj na konačni rezultat. Zbog toga je važno prikupiti što više podataka o samom procesu, ali i mogućim rješenjima kako bi proces odlučivanja bio što objektivniji. Na slici 9.6 prikazana je analiza prema kojoj je vidljivo koja je alternativa prema kojim kriterijima najbolja.



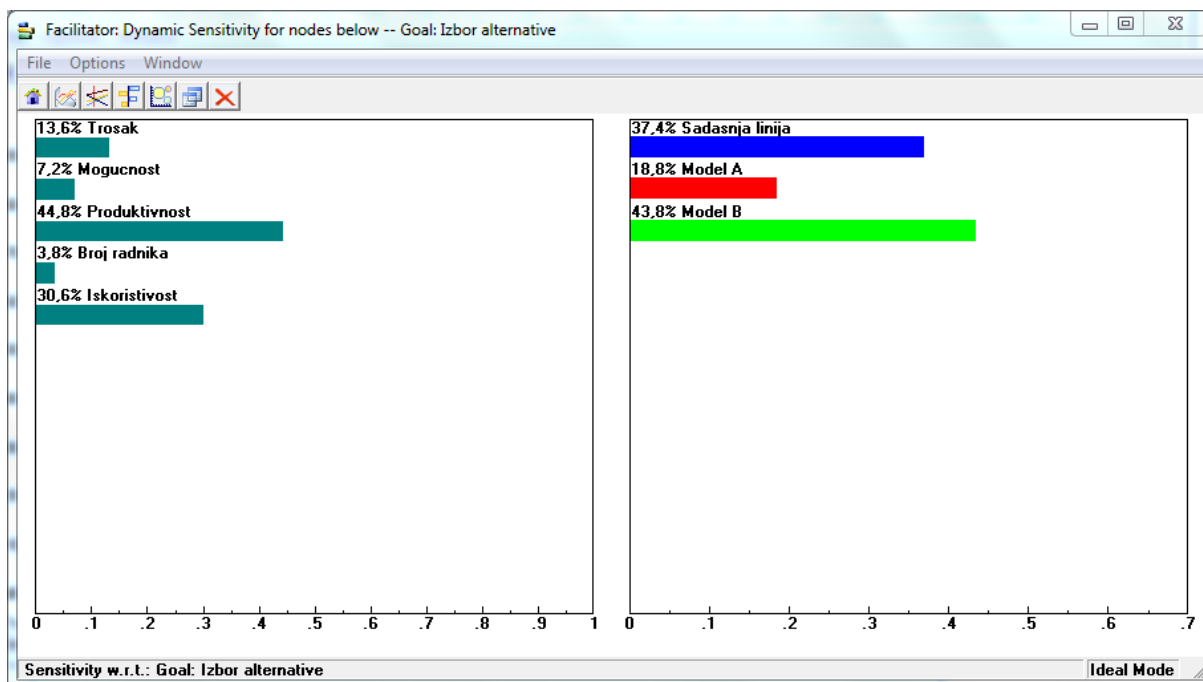
Slika 9.6 Analiza rezultata

Poredak rezultata nakon procesa odlučivanja pomoću Expert Choice-a:

1. Model B,
2. Sadašnja linija,
3. Model A.

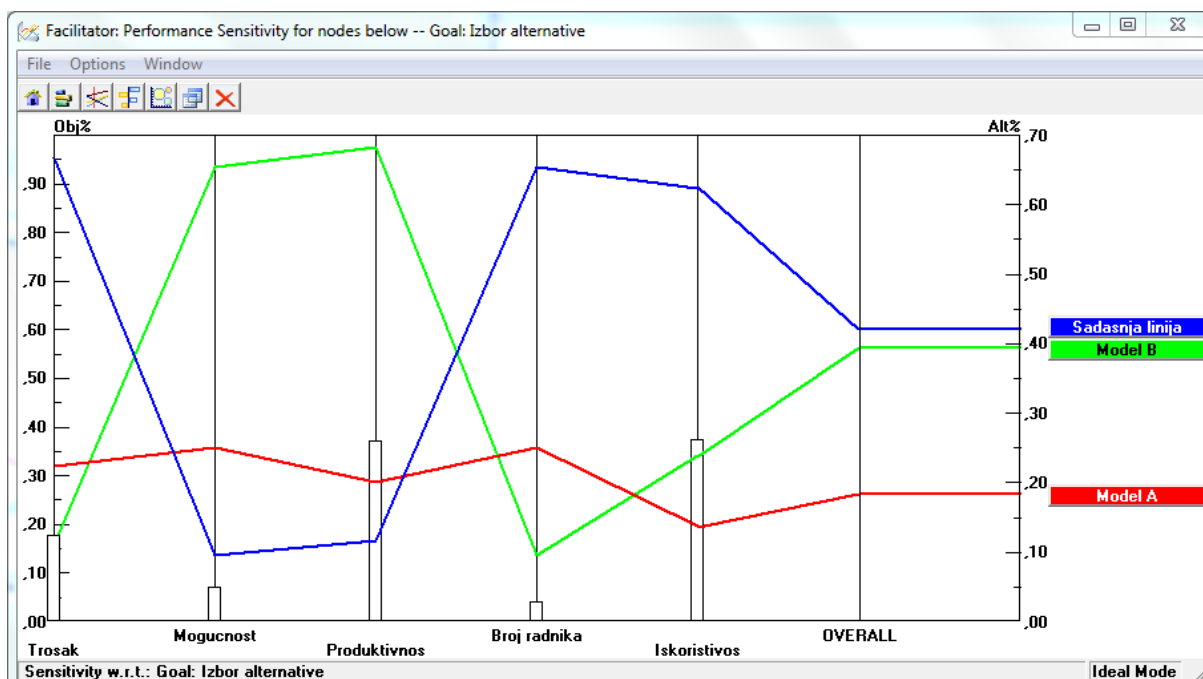
Analiza rezultata na slici 9.6. prikazuje kako *model B* ima najbolje karakteristike kod dva kriterija, dok *sadašnja linija* najbolje zadovoljava čak tri kriterija. Ovdje do izražaja dolazi važnost kriterija produktivnosti koji najviše utječe na rezultat te zbog toga model B dobiva prednost ispred sadašnje linije. Expert Choice ima mogućnosti različitih analiza pomoću kojih je moguće lakše shvatiti cijeli proces odlučivanja te važnost i snagu rezultata.

Slika 9.7 prikazuje odnos kriterija i alternativa.



Slika 9.7 Odnos kriterija i alternativa

Različitim scenarijima, odnosno mijenjanjem važnosti kriterija moguće je dobiti različite rezultate, a jedan takav primjer prikazan je na slici 9.8.



Slika 9.8 Analiza rezultata s promijenjenom važnosti kriterija

Ako bi se postavilo da je kriterij iskoristivosti radnog mjesta jednako važan ili čak važniji kriteriji od produktivnosti tada bi i rezultat bio različit u odnosu na prvi slučaj. Malim

utjecajem na važnost kriterija moguće je promijeniti rezultat te dovesti se u nedoumicu o ispravnosti odluke. Ovakav slučaj pokazuje koliko je objektivnost važna, ali ipak glavni donosilac odluke je čovjek koji svojim znanjem i iskustvom utječe na konačni rezultat. Iako se sustavi potpore odlučivanju svakodnevno razvijaju i unaprjeđuju još uvijek ne postoji sustav koji bi autonomno prikupio podatke te donio odluku neovisno o čovjeku i njegovom znanju i iskustvu. Ovakav alat služi kao potpora odlučivanju te kako bi se ubrzao matematički proces te na taj način donijela doza objektivnosti i kontrole. Korištenjem ovakvih alata dolazi se do odluka koje imaju matematičku podlogu na temelju kojih se cijeli sustav unaprjeđuje. Kombiniranjem korištenja različitih koncepata i alata eliminiraju se nedostaci pojedinog procesa te se cijelom procesu odlučivanja daje viši stupanj ozbiljnosti i stručnosti, a korištenje znanstvenih metoda doprinosi razvijanju i realizaciji novih ideja.

10. ZAKLJUČAK

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda je integrirani koncept u svakoj organizaciji koja vodi brigu o svojim procesima i proizvodima zbog svoje uloge u povezivanju različitih odjela unutar tvrtke te tvrtke i korisnika. Glavni fokus u proizvodnoj organizaciji je stvaranje dodatne vrijednosti prilikom proizvodnje proizvoda u namjeri zadovoljavanja korisnikovih potreba, društveno odgovornog poslovanja, koncepta održive proizvodnje i stvaranja profita. Tvrtke analiziraju svaki dio aktivnosti ako žele stvoriti proizvod koji će biti visoke kvalitete, atraktivnog dizajna i prilagođen željama kupaca. Takve karakteristike proizvodnje predstavljaju koncept Industrije 4.0, a PLM sustav je osnova provedbe takve ideje.

Simulacijom, odnosno digitalnom proizvodnjom kao dio PLM sustava, nastojalo se prikazati sadašnje stanje proizvodnog procesa te na osnovu dostupnih podataka kreirati modele koji bi predstavljali moguća tehnološka i organizacijska poboljšanja sustava. Prvi korak pri kreiranju različitih scenarija je izrada modela koji potvrđuje stvarno stanje proizvodnog sustava kako bi se osiguralo da se kreirani modeli mogu primijeniti u realnom sustavu.

Izradom modela koji su uključivali poboljšanja u odjelu montaže, lakirnice i kontrole nastojalo se prikazati mogućnosti PLM softvera i koliki značaj može imati za cijeli organizacijski sustav. U kombinaciji s programskom podrškom za višekriterijsko odlučivanje na osnovi AHP metode prikazao se proces stvaranja podloge za donošenje odluke o investicijskom ulaganju i načinu organiziranja proizvodnog sustava.

PLM koncept i svi ostali elementi Industrije 4.0 pružaju veliku mogućnost razvijanja i kontrole sustava što pospješuje kvalitetu proizvoda, ali i izvedbe procesa. U obrađenom primjeru prikazano je kako se na efikasan i relativno brz način mogu izbjeći neželjeni scenariji ako se pomoću digitalne proizvodnje predvide situacije te reagira prije nego se tako nešto dogodi u realnom sustavu. Daljnjom analizom sustava te uključivanjem drugim elemenata PLM koncepta moguće je dodatno unaprijediti organizaciju te uvesti novi način organiziranja poslovnih procesa.

LITERATURA

- [1] http://www.sapmag.com.hr/show_article.php?id=530,
- [2] PLM Technology Guide: http://plmtechnologyguide.com/site/?page_id=435,
- [3] Paolo Chiabert, Franco Lombardi, Javier Martinez Gomes, Joel Souza Bedolla: Visualization model for product lifecycle management, Management of Technology Step to Sustainable Production MOTSP 2012, Zadar, Croatia,
- [4] http://www.bcmcom.com/solutions_application_industry40.htm
- [5] <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [6] <http://www.hgk.hr/documents/hgk-industrija-4058d8c59722f1e.pdf>
- [7] https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf
- [8] https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/index.shtml
- [9] <http://www.koncar-mes.hr/o-nama/>
- [10] <http://e-elektro.blogspot.hr/2013/08/trofazni-asinkroni-motor-s-kaveznim.html>
- [11] Kušmišević, M.: Završni rad: Potpora odlučivanju kod razrade projekta "Car Sharing", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.,
- [12] Vlah, S.: Magistarski rad: Modeli višekriterijskog odlučivanja i heuristike za njihovo rješavanje, Ekonomski fakultet Zagreb, Zagreb, 2008.,
- [13] Kovačić, B.: Magistarski rad: Višekriterijsko odlučivanje u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.,
- [14] Decision Support Tools. <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dstools/#information>,
- [15] Decision Support Systems Resources. <http://dssresources.com/>,
- [16] Begićević, N.: Doktorska dizertacija: Višekriterijalni modeli odlučivanja u strateškom planiraju uvođenja e-učenja. FOI. Varaždin, 2008.,
- [17] Lisjak, Dragutin. Održavanje. Održavanje. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb, studeni 2015.,
- [18] Holjevac, N., Kuzle, I., Zidar, M., Modrovčić, M.: Razvoj modela analitičkog hijerarhijskog procesa i njegovo korištenje pri donošenju odluke o prelasku na 20 KV pogonski napon. Trogir, svibanj 2014.,

-
- <https://www.researchgate.net/publication/284409608> Razvoj modela analitickog hijerarhijskog procesa i njegovo korištenje pri donošenju odluke o prelasku na 20 kv pogonski napon
- [19] Damjanović, D. Primena AHP metode na selekciju i evaluaciju dobavljača. Univerzitet Singidunum, Beograd, 2013., <http://www.singipedia.singidunum.ac.rs/content/3371-Primena-AHP-metode-na-selekciju-i-evaluaciju-dobavlja%C4%8Da>,

PRILOZI

- I. Tehnološki postupak izrade trofaznog kaveznog asinkronog elektromotora 5AZ 80B-4 – A440570
- II. CD-R disc

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. A440570

Artikl: **A440570 M 5.5AZ 80B-4 B3 OG 230/400D/Y 0.75KW (4F-70)**

Tip artikla: **GOT** Jmj: **KOM** Opis (tip. ozn.):

Crtež: **204706**

Grupa (klasa): **AB4BA** Grupa2: **STANDK** Vrijedi do:

Grupa4: **63000**

Vrijedi za kol: Metoda grupiranja: **POS** Period grupiranja: **10**

Mjerna skica:

Skladište: **SGR** Izvor: **I** Minimalna zaliha: **0** Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije Prioritet Kriterij Vrijedi do
A440570

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010		S	Montaža priključka, kompletiranje SK, TIPA 80 - AZ, ABZ	0,1000	98715	Montaža elektromotora i agr	2177	BA10
0020		S	Montaža motora i mehanička kontrola, TIPA 80 - AZ, ABZ	0,0900	98715	Montaža elektromotora i agr	2177	BA20
0033		S	Štampanje natpisne pločice i etikete prema podacima pločice	0,0270	28312	Izrada natpisnih pločica i izja	2177	MO24
0039		S	Elektro ispitivanje, ljepljenje brtve, zatvaranje motora i popunjavanje dokumentacije, TIPA 56-112 - TRAKA, PP 2530.09.01	0,0650	7411	Elektro ispitivanje - Rissati	2177	EIO10
0060		S	Zavješavanje motora + 1 sloj ličenje + sušenje, TIPA 71,80,90 PP-2140.06.03/04	0,0265	89311	Linija za ličenje - MM	2177	LM020
0070		S	Skidanje, čišćenje, pakiranje, kompletiranje dokumentacije, završna kontrola i isporuka, Tipa 56-90, PP-2140.06.01/02/09	0,0450	98705	Ručni i pomoćni poslovi mon	2177	PM010
0,3535								

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
005	206037A	UPUTE 20.12556 D/Y ZA PRIKLJUČAK	DIO	1	KOM	I	ARH	20.12556	105	
010	A437103	SK/4 80-4 (4F-70) B3/OG-M20 400Y	SKL	1	KOM	I	PPS	204672/04	1	26.2.1999.
020	205275A	ROT 80-4F-70 IP55	SKL	1	KOM	I	PSK	204675/04	2	15.12.1998.
030	A462086	LŠ/4S 80 B3 PS	PP	1	KOM	IZ	PMM	A46208	3	12.11.1999.
040	2046903	LŠ/S 80 B3 SS	PP	1	KOM	IZ	PMM	204690	9	22.2.2001.
050	A424907	POK/O/5S 80-112 - KONČAR-	DIO	1	KOM	N	ODL		24	23.8.2011.
060	1393014	PL NATP -CRNA- AI 70x30	DIO	1	KOM	N	SUD	139303/01	6	8.3.2013.
070	9091645	ZAKOVICA 2,0x5 RK 623.21	DIO	2	KOM	N	SUD	9091645	8	21.7.2011.
080	A433930	O.M.D./5 80 B3	F	1	KOM	I	PPS	204706	21	
090	A655836	LEŽAJ 6204 2RS KG	DIO	2	KOM	N	SUD		10	11.11.2011.
095	9169539	OPRUGA LEŽAJNA 46,5x40x0,5	DIO	1	KOM	N	SUD		11	5.11.2011.
100	A007400	VK 80/61	DIO	1	KOM	N	SUD	A00584/03	14	23.11.2011.
110	2046911	VENT/P 80 AZ/AT	DIO	1	KOM	N	SUD	204691	12	25.10.2011.
120	1059726	KLIN A6x6x32 HRN M.C2.060 SINTER	DIO	1	KOM	N	SUD		25	20.10.2011.
130	2069245	TULJAK ZA OSOVINU 19x40	DIO	1	KOM	N	SUD	20.12694/02	100	27.9.2011.
330	A491906	UVOD M20X1,5 PL IP68 RAL9005, 6-12	DIO	1	KOM	N	SUD		28	18.11.2011.
350	A526343	BRTVILO M20X1,5 PLOSNATO 24/18x1,5	DIO	1	KOM	N	SUD	A52635/02	139	22.11.2011.
500	A303239	BOJA/K RAL-5010 /HENELIT PU 250-70 - PLAVA - M80	F	1	KOM	I	PPS		110	
510	A18678A	KUTIJA K 2 (80,C80) 285x225x220 karton 5-slojeva	DIO	1	KOM	N	AMB	A18677/02	120	28.11.2011.
511	A562161	NALJEPNICA 100X80 U TRACI (1/10000)	MR	1	KOM	N	SUD		121	4.10.2011.
512	A187131	ULOŽAK A-K 2 15x225x210 karton 5-slojeva	DIO	1	KOM	N	AMB	A18711/02	122	28.11.2011.
513	A18714A	ULOŽAK B-K 2 495x220 karton 5-slojeva	DIO	1	KOM	N	AMB	A18712/02	123	28.11.2011.
514	A189061	LETVA 180x20x1000 OKIPOR	MR	0,15	m	N	AMB		124	16.11.2011.
521	2752514	UPUTE ZA UPORABU I ODRŽAVANJE AZ, AZK, AZS	DIO	1	KOM	N	SUD		131	16.11.2011.
522	9248161	VREĆICA 180x260 PVC (0,03 mm)	DIO	1	KOM	N	SUD		132	24.10.2011.

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. A491779

Artikl: A491779 KUĆ/4S 80 B3/OG-M20

Tip artikla: PP Jmj: KOM Opis (tip. ozn.): 5.4 AZ 80 B3

Crtež: A49177/01

Grupa (klasa): JBB

Grupa2: KATAB

Vrijedi do:

Grupa4: 61003

Vrijedi za kol:

Metoda grupiranja: LFL

Period grupiranja: 0

Mjerna skica:

Skladište: PSK

Izvor: I

Minimalna zaliha: 0

Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije	Prioritet	Kriterij	Vrijedi do
A491779			

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010			Izbijanje čepa, proširivanje rupe i rezanje nareza-komplet	0,0470	21000	Linija bušilica SL/AISI	214	
0020		S	Pranje i odmašćivanje (80)	0,0041	81471	BUPI uređaj za odmašćivanj	214	B010
0,0511								

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	A491191	KUĆ/O/4S 80 B3/OG M20+M16 C403BSU5	DIO	1	KOM	N	ODL		1	29.4.2011.

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. A437103

Artikl: **A437103 SK/4 80-4 (4F-70) B3/OG-M20 400Y**

Tip artikla: **SKLOP** Jmj: **KOM** Opis (tip. ozn.): **5.4 AZ 80-4 (4F-70) B3** Crtež: **204672/04**

Grupa (klasa): **HB4BA** Grupa2: **STAND** Vrijedi do: Grupa4: **61002**

Vrijedi za kol: Metoda grupiranja: **LFL** Period grupiranja: **0** Mjerna skica:

Skladište: **PPS** Izvor: **I** Minimalna zaliha: **0** Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije Prioritet Kriterij Vrijedi do
A437103

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010		S	Upreš.kučišta NAV 52149-41709 (80) (skid.srha za izvode,izvlač.izvoda)	0,0367	72451	Uprešavanje statora MM (T	214	B030
0020		S	Centriranje (prov.trnom,skid.srha i ispuh.) n=560;s=0,15-ručni (80-4)	0,0300	28210	AXA-VTC-2 vertikalna tokarili	214	B011
0029		S	Kontrola dosjeda i udara KIP-002, PP-2530.09.08 (80)	0,0050	99100V	Poslovi kontrole u strojnoj o	214	B501
0030		S	Glodanje nogu i skidanje srha n=500 o/min;s=600 mm/min (80)	0,0255	23235	FGU 32 glodalica - glodanje i	214	B010
0039		S	Kontrola osne visine KIP-002, PP-2530.09.08 (80)	0,0030	99100V	Poslovi kontrole u strojnoj o	214	B502
0,1002								

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	A152508	SN 80-4 (4F-70) 400 Y; F	SKL	1	KOM	I	PPS	205234/08	1	20.4.1999.
020	A491779	KUĆ/4S 80 B3/OG-M20	PP	1	KOM	I	PSK	A49177/01	2	20.5.2002.

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. 2046857

Artikl: 2046857 VRAT 80 IP55
Tip artikla: PP Jmj: KOM Opis (tip. ozn.): 5AZ 80 Crtež: 204685/01
Grupa (klasa): JFB Grupa2: KATAB Vrijedi do: Grupa4: 61000
Vrijedi za kol: Metoda grupiranja: POS Period grupiranja: 20 Mjerna skica:
Skladište: PSK Izvor: IZ Minimalna zaliha: 150 Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije	Prioritet	Kriterij	Vrijedi do
2046857			

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010		S	Rezanje na duž.prema crtežu +2mm fi 28 (Rezanje po 2 kom.)	0,0131	41414	KASTO A4 (tračna pila) i OHL	214	B010
0020		S	Zaravnavanje, središtenje i ureziv. navoja M6 na vratilu (SOK 40)	0,0577	42311	SOK-40 zaravnavanje,sred.i	214	C010
0030			Tokarenje komplet komplet na mjeru, kontrola mjera, PRG: 204685K	0,0585	28110V	TRAUB-300 CNC tokarilica	214	
0040		S	Glodanje utora za klin na remenici i skidanje srha, PRG: REMENICA_80	0,0220	28311M	HAAS VF-5/40XT CNC glodali	214	B010
0050		S	Renderiranje vratila T-80	0,0059	43511	Stroj za valjanje-rovasenje	214	BV10
0059		S	Kontrola mjera vratila 80 prema KIP-007, PP-2530.09.08	0,0030	99100V	Poslovi kontrole u strojnoj o	214	BV01
0,1602								

Rbr	Šifra artkla	Naziv artkla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	9006540	ČELIK OKRUGLI 28 HRN C.B3.021 Č.0562	MR	1,381	kg	N	SIR		1	5.11.2011.

Tehnologija

br. 205275A

Datum listanja: 9.6.2017.

Artikl: 205275A ROT 80-4F-70 IP55

Tip artikla: SKLOP Jmj: KOM Opis (tip. ozn.): 5AZ 80-4F-70

Crtež: 204675/04

Grupa (klasa): IB4B

Grupa2: STAND

Vrijedi do:

Grupa4: 61000

Vrijedi za kol:

Metoda grupiranja: LFL

Period grupiranja: 0

Mjerna skica:

Skladište: PSK

Izvor: I

Minimalna zaliha: 0

Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije	Prioritet	Kriterij	Vrijedi do
205275A			

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010		S	Uprešavanje vratila u RPN + ravnanje (Tip 80)	0,0250	67873	Uprešavanje rotora MM (pre	214	BR10
0030		S	Tokarenje paketa na mjeru 80 + kontrola prema KIP-005. PP-2530.09.08	0,0400	12212M	D530/1000,TVP 250-800 tok	214	BR20
0040		S	Dinamičko izjednačenje mase 80 stupanj vibracija "A"	0,0140	84211	SCHENCK PASIO 15 - balansir	214	BR30
				0,0790				

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	2801701	RPN 80-4F-70MM AI;70x25x70;1/24 M530	DIO	1	KOM	N	ROT	204680/01	1	20.9.2011.
020	2046857	VRAT 80 IP55	PP	1	KOM	IZ	PSK	204685/01	2	8.1.1999.
030	9085130	PODLOŠKA A6 DIN 125/A A3P	DIO	6	KOM	N	SUD		3	25.11.2011.

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. A462086

Artikl: A462086 LŠ/4S 80 B3 PS

Tip artikla: PP Jmj: KOM Opis (tip. ozn.): 5.4 AZ 80 B3

Crtež: A46208

Grupa (klasa): JAB Grupa2: KATAB

Vrijedi do:

Grupa4: 61009

Vrijedi za kol: Metoda grupiranja: LFL Period grupiranja: 0

Mjerna skica:

Skladište: PMM Izvor: IZ Minimalna zaliha: 80

Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije	Prioritet	Kriterij	Vrijedi do
A462086			

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0010		S	Tok. oblika na točne mj.sa dodatkom za utis. i utiskivanje (80 Al)	0,0200	41602	PUMA 240 CNC tokarilica (Šti	214	B010
0015		S	Utiskivanje ležajnog dosjeda (80 Al- SI)ROLATOR 0126799	0,0060	21000	Linija bušilica SL/AISI	214	B010
0019		S	Kontrola dosjeda lež. štita 80 prema KIP-006, PP-2530.09.08	0,0025	99100V	Poslovi kontrole u strojnoj o	214	BL01
0020		S	Pranje i odmaščivanje (80 Al)	0,0014	81471	BUPI uređaj za odmaščivanj	214	B010
				0,0299				

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	1375342	LŠ/O/4S 80 B3	DIO	1	KOM	N	ODL		1	6.9.2012.

Tehnologija

Datum listanja: 9.6.2017.

br. 2046903

Artikl: 2046903 LŠ/S 80 B3 SS
Tip artikla: PP Jmj: KOM Opis (tip. ozn.): 5AZ 80 B3 SS Crtež: 204690
Grupa (klasa): JAB Grupa2: KATAB Vrijedi do: Grupa4: 61009
Vrijedi za kol: Metoda grupiranja: POS Period grupiranja: 20 Mjerna skica:
Skladište: PMM Izvor: IZ Minimalna zaliha: 200 Prioritet tehnologije:

Varijante tehnologije

Broj tehnologije Prioritet Kriterij Vrijedi do
2046903

Br. oper.	V	S	Naziv	Vrm. oper.	RM	Naz. RM	Mj. tr	Std. oper.
0005			Sačmarenje	0,0050	81399	Sačmarilica SCM 2R (6x10)	214	
0010			Tok.oblika na točne mj. i utiskiv. lez.dosjeda ROL.0126799, kontrola mjera	0,0320	41601	TRAUB-300 CNC tokarilica (Š	214	
0020			Bušenje rupa i urezivanje navoja na ušicama NBU 47366-80	0,0225	21000	Linija bušilica SL/AlSi	214	
0030	S		Pranje i odmašćivanje (80 Al)	0,0014	81471	BUPI uređaj za odmašćivanj	214	B010
0,0609								

Rbr	Šifra artikla	Naziv artikla	Tip	Jed. kol.	JMJ	Izvor	Skl.	Crtež	Poz	Kreiran
010	A148160	LŠ/O/S 80 B3 SS APR 170568 - P400	DIO	1	KOM	N	ODL	A14816	1	25.11.2011.